

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA



**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de:

INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**“PROPUESTA DE DIVERSIFICACIÓN *IN SILICO* DE LA PRODUCCIÓN DE
PANELA DE LA PROVINCIA DE PASTAZA”**

AUTOR

SHIRLEY ISAMAR POMAVILLA GUAMINGA

DIRECTORES

KAREL DIÉGUEZ SANTANA

AMAURY PÉREZ MARTÍNEZ

PUYO-PASTAZA-ECUADOR

2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHO

Yo Shirley Isamar Pomavilla Guaminga, bajo juramento declaro que el trabajo aquí descrito es de mi total autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el presente documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo a la Universidad Estatal Amazónica de la provincia de Pastaza, según lo establecido en la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y normativa Institucional vigente.

Shirley Isamar Pomavilla Guaminga
C.I. 2200410633

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Por medio del presente, nosotros Amaury Pérez Martínez, con el número de cédula 175715076-6 y Karel Diéguez Santana, con número de cédula 175644412-9, certificamos que la egresada Shirley Isamar Pomavilla Guaminga, realizó el trabajo de investigación y desarrollo titulado “PROPUESTA DE DIVERSIFICACIÓN *IN SILICO* DE LA PRODUCCIÓN DE LA PANELA DE LA PROVINCIA DE PASTAZA”, previo a la obtención del Título de Ingeniero Agroindustrial bajo nuestra supervisión.

.....
Amaury Pérez Martínez

C.I. 175715076-6

.....
Karel Diéguez Santana

C.I. 175644412-9

DIRECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

ESTE PROYECTO FUE REVISADO Y APROBADO POR EL SIGUIENTE TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN O GRADO.

.....
MSc. Victor Cerda Mejía

PRESIDENTE

.....
MSc. Marcelo Luna Murillo

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....
Dr. Segundo Valle Ramírez, PhD

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

2017-2018

AGRADECIMIENTO

Agradezco ante todo a Dios por brindarme sabiduría y entendimiento. Por ser mi guía en cada etapa de mi vida.

A mi madre por ser mi inspiración, por brindarme ese apoyo incondicional y ser un pilar fundamental para cumplir mis metas y sueños. Además, por ser esa amiga que nunca abandona.

A mi abuelito por ese cariño de padre, por su preocupación y apoyo en cada momento.

A mis hermanas y hermano por su aprecio e inculcar ese ánimo de lucha y superación.

A mi esposito por ser mi apoyo incondicional, por brindarme ese amor y paciencia.

A mis queridos sobrinitos y sobrinita por ser mi inspiración y siempre alegrarme.

A toda mi familia por su apoyo, consejos, que han ayudado a fortalecer mi carácter de lucha.

A los docentes que me impartieron sus conocimientos y experiencias durante todos los años de estudios que inculcaron en mí el interés de investigación y pasión.

A mis tutores por tener mucha paciencia, por brindarme sus directrices y conocimientos para el logro de mi meta.

A mis amigos, amigas, compañeras y compañeros por plantear el reto de superación y por su apoyo durante la vida universitaria.

Shirley Pomavilla Guaminga

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida, por llenarme de muchas bendiciones y pruebas que fortalecen mi espíritu, fé y corazón. Por brindarme el entendimiento y estar rodeada de personas especiales y por ser el pilar fundamental de mi vida.

A mi madre Lola Guaminga, por su amor infinito desde que me tuvo en su vientre, por luchar ante todos los obstáculos de la vida por sus amados hijos/o, por inculcar valores humanos, por impartir sus conocimientos, enseñanzas y sobre todo su amor de madre.

A mi abuelito Agustín Guaminga, por quererme como padre y apoyarme siempre.

A mis hermanos, Geovanny, Vanessa y Josselin, por su apoyo y cariño incondicional.

A mi esposito Cesar Andino, por su amor, apoyo y paciencia.

A mis sobrinitos, Erick, Keyler y Wesly, por ser mi inspiración y por su amor.

A todos mis familiares y amigos por su confianza y amor infinito.

A mis docentes y en especial a mis tutores Karel Diéguez y Amaury Pérez, por darme la confianza y por los conocimientos impartidos.

Shirley Pomavilla Guaminga

I. RESUMEN Y PALABRAS CLAVES.

El objetivo del presente trabajo fue proponer una alternativa de diversificación de la producción de panela de la Provincia de Pastaza para el aprovechamiento del bagazo, mediante el diseño *in silico*. Los productos y tecnologías seleccionadas fueron resultado de la aplicación de la estrategia diversificación relacionada y la integración vertical en función a la cadena de valor de la producción de panela. Los productos seleccionados en función a la disponibilidad de la materia prima (179,42 T de bagazo/d.) a la capacidad instalada en las 110 paneleras y a la composición del bagazo. Estos fueron: furfural, yeso, ácido cítrico, etanol y cogeneración que permitieron la sostenibilidad de las alternativas planteadas. Se utilizó el simulador de procesos *SuperPro Designer 9.0v* por sus potencialidades y aplicaciones en la industria biotecnológica. Se simuló en 5 etapas agrupadas a partir de las transformaciones requeridas de la materia prima para obtener los diferentes productos. Las etapas fueron acondicionamiento, pretratamiento, producción de ácido cítrico, producción de etanol y cogeneración. Los indicadores dinámicos económicos demostraron la factibilidad de inversión, con un período de recuperación de 3.09 años y un VAN de \$51 899 000 para una capacidad (144T/d de bagazo) de la estrategia de diversificación seleccionada. Adicionalmente se determinó la capacidad (64,96T/d de bagazo) de la estrategia a una tasa de interés del 7% el VAN queda en 0. Los coproductos y residuales generados se propusieron su comercialización o proyección de generación de nuevos productos.

Palabras claves: Diversificación, integración vertical, cadena de valor, caña de azúcar, bagazo.

ABSTRACT AND KEYWORDS

The objective of the present work was to propose an alternative of diversification of panela production from the Province of Pastaza for the use of bagasse, through in silico design. The selected products and technologies were the result of the application of the related diversification strategy and vertical integration based on the panela production value chain. The selected products according to the availability of the raw material (179.42 T of bagasse / d.) To the installed capacity in the 110 panels and to the composition of the bagasse. These were: furfural, gypsum, citric acid, ethanol and cogeneration that allowed the sustainability of the proposed alternatives. The SuperPro Designer 9.0v process simulator was used for its potential and applications in the biotechnology industry. It was simulated in 5 stages grouped from the required transformations of the raw material to obtain the different products. The stages were conditioning, pretreatment, citric acid production, ethanol production and cogeneration. The economic dynamic indicators demonstrated the feasibility of investment, with a recovery period of 3.09 years and a NPV of \$ 51,899,000 for a capacity (144T / d of bagasse) of the selected diversification strategy. In addition, the capacity (64.96T / d of bagasse) of the strategy was determined at an interest rate of 7%. The NPV is set at 0. Co-products and residuals generated were proposed for marketing or projection for the generation of new products. Keywords: Diversification, vertical integration, value chain, sugar cane, bagasse.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.	3
1.2. HIPÓTESIS.	4
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	5
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN. MARCO CONCEPTUAL.....	6
2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PANELERA EN LA PROVINCIA DE PASTAZA.....	6
2.2. BAGAZO: COMPOSICIÓN Y CONSERVACIÓN.	9
2.3. DIVERSIFICACIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR. SUBPRODUCTOS.....	12
2.4. ESTRATÉGIAS DE DIVERSIFICACIÓN.....	18
2.5. SIMULACIÓN Y SIMULADORES DE PROCESOS QUÍMICOS.	21
2.6. MARCO REFERENCIAL.	23
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
3.1. LOCALIZACIÓN Y CONDICIONES METEREOLÓGICAS	25
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.	25
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	26
3.4. FUENTES DE RECOPIACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	27
3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.	27
3.6. INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.	31
3.7. TRATAMIENTO DE DATOS DE LA SIMULACIÓN.....	32
3.8. RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES.....	32
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	33
4.1. ESTRATEGIA DE DIVERSIFICACIÓN.....	33
4.2. METODOLOGÍA DE LA SIMULACIÓN DE LA PROPUESTA DE DIVERSIFICACIÓN.	40
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	50
5.1. CONCLUSIONES.....	50
5.2. RECOMENDACIONES.	50
CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA.	51
CAPÍTULO VII ANEXOS.	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conversión de fibra de la composición del bagazo de caña de azúcar seco.	9
Tabla 2. Recursos Humanos empleados en el proyecto de investigación.	32
Tabla 3. Materiales utilizados en el proyecto.	32
Tabla 4. Precios de venta de productos y coproductos.	41
Tabla 5. Resumen Ejecutivo.	44
Tabla 6. Residuos líquidos de la propuesta.	48
Tabla 7. Residuos sólidos producidos en la propuesta.	49
Tabla 8. Residuos gaseosos producidos en la propuesta.	49
Tabla 9. Residuos como Subproductos.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Ishikawa. Fuente: Elaboración Propia.	3
Figura 2. Derivados de la agroindustria azucarera. Fuente: (Aguilar Rivera et al., 2009).	12
Figura 3. Diseño de procesos. Fuente: (Martínez Sifuentes et al., 2003):	20
Figura 4. La cadena de valor de Michael Porter. Fuente: (Porter, 2017)	28
Figura 5. Cadena de valor de la diversificación de la industria azucarera. Fuente: (Aguilar Rivera, 2014c)	28
Figura 6. Pasos de la Integración Vertical. Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 7. Pasos para realizar la simulación. Fuente: (Julián Ricardo et al., 2017)	29
Figura 8. Cadena de valor que permite la sostenibilidad. Fuente: elaboración propia.	34
Figura 9. Importaciones de Ecuador de ácido cítrico. Fuente: (TRADEMAP, 2017)	34
Figura 10. Diagrama de bloque del acondicionamiento del bagazo de la caña.	35
Figura 11. Diagrama de bloque de la tecnología de pretratamiento del bagazo de caña de azúcar. Fuente: Elaboración Propia.	36
Figura 12. Diagrama de bloque de la tecnología de producción de ácido cítrico.	37
Figura 13. Diagrama de bloque de la tecnología de cogeneración.	38
Figura 14. Diagrama de bloque de la tecnología de producción de Etanol.	39
Figura 15. Tecnología de pretratamiento del material lignocelulósica Fuente: Modificado (Albernas Carvajal et al., 2017)	42
Figura 16. Cálculo de la capacidad cuando el VAN queda en “0” al 7% de interés. Fuente: Elaboración propia.	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1. Acondicionamiento del bagazo	54
Anexos 2. Pretratamiento del Bagazo.	55
Anexos 3. Producción de Ácido cítrico.	56
Anexos 4. Cogeneración.	57
Anexos 5. Producción de Etanol.	59
Anexos 6. Condiciones de Pretratamiento del material lignocelulósica.	60
Anexos 7. Dimensionamiento y costos del equipamiento. (Precios 2010)	61
Anexos 8. Costo de Inversión.	65
Anexos 9. Costo de materiales (precios 2010).	66
Anexos 10. Tratamientos de residuos y costos de eliminación (precios 2010).	67
Anexos 11. Costos de Facilidades Auxiliares. (Precios de 2010).	68
Anexos 12. Costos de operación anual (Precios de 2010) obtenidos.	69
Anexos 13. Resumen ejecutivo económico (Precios de 2010)	70

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación. 1.

41

CÓDIGO DUBLIN

Título	“PROPUESTA DE DIVERSIFICACIÓN <i>IN SILICO</i> DE LA PRODUCCIÓN DE LA PANELA DE LA PROVINCIA DE PASTAZA”				
Autor	Pomavilla Guaminga Shirley Isamar				
Palabras clave:	Diversificación	integración vertical	cadena de valor	caña de azúcar	bagazo
Fecha de publicación:	19-23-febrero-18				
Editorial					
Resumen: (hasta 300 palabras)	<p>El objetivo del presente trabajo fue proponer una alternativa de diversificación de la producción de panela de la Provincia de Pastaza para el aprovechamiento del bagazo, mediante el diseño <i>in silico</i>. Los productos y tecnologías seleccionadas fueron resultado de la aplicación de la estrategia diversificación relacionada y la integración vertical en función a la cadena de valor de la producción de panela. Los productos seleccionados en función a la disponibilidad de la materia prima (179,42 T de bagazo/d.) a la capacidad instalada en las 110 paneleras y a la composición del bagazo. Estos fueron: furfural, yeso, ácido cítrico, etanol y cogeneración que permitieron la sostenibilidad de las alternativas planteadas. Se utilizó el simulador de procesos <i>SuperPro Designer 9.0v</i> por sus potencialidades y aplicaciones en la industria biotecnológica. Se simuló en 5 etapas agrupadas a partir de las transformaciones requeridas de la materia prima para obtener los diferentes productos. Las etapas fueron acondicionamiento, pretratamiento, producción de ácido cítrico, producción de etanol y cogeneración. Los indicadores dinámicos económicos demostraron la factibilidad de inversión, con un período de recuperación de 3.09 años y un VAN de \$51 899 000 para una capacidad (144T/d de bagazo) de la estrategia de diversificación seleccionada. Adicionalmente se determinó la capacidad (64,96T/d de bagazo) de la estrategia a una tasa de interés del 7% el VAN queda en 0. Los coproductos y residuales generados se propusieron su comercialización o proyección de generación de nuevos productos.</p>				
Descripción	86 hojas de dimensiones. 29 x 21 cm + 1CD-ROM 6162				
URI:	(en blanco hasta cuando se dispongan los repositorios)				

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial los residuos agroindustriales han sido causa de diversos problemas de contaminación ambiental. Por lo que se promueve el uso y manejo de sistemas productivos que permitan recuperar, reutilizar y/o transformar los residuos en productos útiles para la sociedad (Gordillo et al., 2011).

La caña de azúcar es un producto agrícola que es una especie de la familia de las poaceas y el género *Saccharum*. Esta planta es proveniente del sureste asiático, en el siglo IX por la expansión musulmana llegó a la zona costera de España, a las ciudades de Málaga y Motril. En el siglo XV, España la introdujo a América y su cultivo se desarrolló en países como Cuba, Guatemala, Brasil, México, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela, considerado entre los mayores productores de azúcar del mundo (Nicolalde Herrera, 2014).

La producción de caña de azúcar se concentra principal en los países de Brasil, India, China, Tailandia, Pakistán, México, Ecuador, entre otros con el 39,59%, 19,39%, 6,82%, 4,52%, 3,22%, 3,03%, 0,50%, 22,92%, respectivamente (Nicolalde Herrera, 2014).

El 20% de la caña de azúcar en el Ecuador se utiliza para la fabricación de panela y el 80% del área sembrada se destina a la producción de azúcar y alcohol etílico, a partir del jugo de caña y melaza. El cultivo de la caña de azúcar representa el 19,05% a nivel nacional, otorgando el 3% en la región Amazónica con producción de 8 272 ha (Trávez Peñafiel, 2011).

Pastaza abarca la mayor producción de caña de azúcar de 4 500 ha, representando el 54% a nivel regional, con un rendimiento de 55T/ha. De la producción de caña de azúcar se destina el 30% para agua ardiente, el 40% para panela y el 30% restante para caña de fruta; de la producción total existe un 10% de desperdicio por causa de falta de vías de comunicación, plagas, enfermedades, etc. Dentro de la provincia de Pastaza existen 10 paneleras mejoradas y 100 pequeñas fábricas de molienda con tecnología tradicional (GADPP, 2016; Sablón Cossío, Pérez Quintana, Chacón Guerra, & Villalba Pozo, 2016)

En la provincia de Pastaza se produce caña de azúcar y derivados como panela en ladrillo, panela granulada, aguardiente y caña de fruta, siendo básicamente los únicos productos actualmente elaborados. En condiciones óptimas se producen 840 000 kg de panela/año (ASOCAP, 2017).

El rendimiento de la panela es de 9,5% en relación con el peso de la caña, es decir, que por cada tonelada de caña se obtiene en promedio 95 kg de panela. En este proceso se generan

aproximadamente 270 kg de bagazo de caña por cada tonelada cosechada con un rendimiento ideal (Castañón Rodríguez et al., 2015).

Conjuntamente con la poca variedad de productos, la indisponibilidad de materia prima, el estado artesanal de las paneleras ha conllevado a la crisis del sector azucarero. Se menciona la reestructuración y la reducción de la producción de azúcar para la competitividad, con la alternativa del etanol como combustible, optando por un mercado de uso de energías renovables, como producto de la biomasa, desechos agroindustriales o residuos urbanos (Aguilar Rivera, 2007).

El etanol ha sido la oportunidad para que la agroindustria logre la eficiencia productiva y económica debido a que son amigables con el medio ambiente y utilizan desechos del proceso agroindustrial de la caña de azúcar que muchas veces es desechado. El uso del etanol en la gasolina reduce los niveles de dióxido de carbono atmosférico. Por lo tanto, la producción de etanol es considerado una alternativa de diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar a partir de la biomasa cañera (Aguilar Rivera, 2007).

La diversificación abarca no sólo la producción de azúcar, sino la utilización de caña para la alimentación animal y humana, generación de energía, etanol, combustible, alcohochímica, detergentes, pinturas, cosméticos, aerosoles, jabones, perfumería, medicinas, obtención de proteína, tableros de bagazo entre otros en función a la economía (Garrido, Navarro, Díaz de los Ríos, & Pérez, 2010). Sin embargo, no se ha presentado una política audaz sobre el uso de los productos y subproductos que permitan la transformación de una agroindustria rentable y competitiva a nivel mundial (Aguilar Rivera, 2010).

El uso de residuos agroindustriales en la alimentación animal es otra potencialidad, ya sea de forma original o procesada, siendo una fuente de proteína y fibra. Se puede utilizar el material lignocelulósica para producir químicos orgánicos tales como: acetona, butano, biohidrógeno, biometano, ácido acético, ácido cítrico, ácido fumárico, ácido láctico, xilitol, entre otros. Los compuestos aromáticos se pueden generar a partir de la lignina (Martín, 2009).

La inestabilidad del mercado a nivel mundial de la industria de la caña de azúcar afecta en el ámbito ambiental, social y económico, por tal motivo se denomina un sistema complejo, el mismo que enfrenta un gran reto de lograr la reconversión a biorrefinerías y a la diversificación productiva ya que permite garantizar la sostenibilidad del sistema (Aguilar Rivera, 2014b).

CAPÍTULO I. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En la provincia de Pastaza cuenta con más de 110 panelares y pocas destilerías que generan una cantidad significativa de material lignocelulósico (bagazo de caña de azúcar). Dentro de los problemas que presenta esta industria es que no se aprovechan los residuos agroindustriales y agrícolas en su totalidad. Fundamentalmente por desconocimiento de su utilidad o por falta de tecnología adecuada para su transformación.

Como consecuencia no se generan nuevos productos y no se aprovecha el potencial existente. Esto permitiría la diversificación de la industria de la panela, su impacto en el mercado con la introducción de nuevos productos y por ende su impacto económico en la región.

La utilización fundamental que se le da al bagazo es como leña para el proceso de combustión para elaborar panela, siendo una práctica no muy usada en la provincia. Existen una gran variedad de productos que se pueden obtener a partir del bagazo como productos para alimentación animal, generación de energía (biogás), levaduras, alcohol, productos hidrolizados, papel, pulpa, furfural, tableros, fertilizantes, materia orgánica (Basanta, García Delgado, Crervantes Martínez, Mata Vázquez, & Bustos Vázquez, 2007; Villena Izurieta, 2015).

DIAGNÓSTICO.

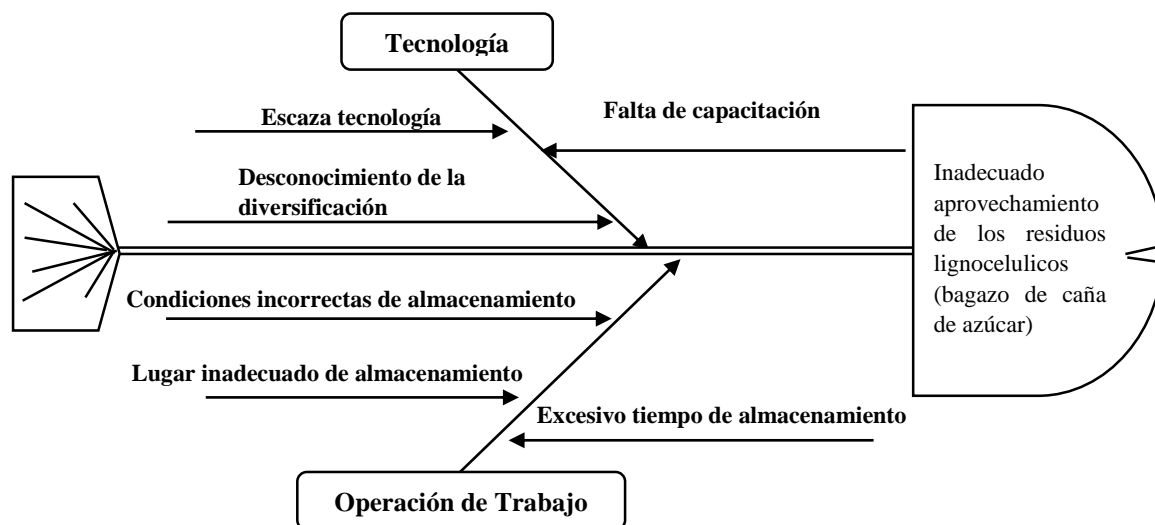


Figura 1. Diagrama Ishikawa. Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 1 (diagrama de Ishikawa) se ilustran algunas de las causas que originan el problema en la Provincia de Pastaza. El problema identificado es el inadecuado aprovechamiento del bagazo de la caña de azúcar. Dentro de las causas están: el desconocimiento y falta de capacitación de la trabajadores y propietarios, escasas condiciones y lugar apropiados de almacenamiento del bagazo y la ausencia de tecnología limita para la transformación y su máximo aprovechamiento en productos útiles para el consumo y venta.

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Por todo lo anterior expuesto se plantea como problema ¿Cómo aprovechar el bagazo generado en la producción de panela en la provincia de Pastaza?

1.1.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.

Situación Problemática: Inadecuado aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos (bagazo de caña de azúcar) en la Provincia de Pastaza.

¿Cuál es la cantidad de bagazo de caña de azúcar que no se aprovecha en las paneleras de la provincia de Pastaza?

¿Es factible tener una industria diversificada en la región Amazónica?

¿Cuántas paneleras estarían dispuestas a implementar la estrategia de diversificación?

¿Cuál es la capacidad de las paneleras que permitan que sean factible las tecnologías seleccionadas?

1.2. HIPÓTESIS.

Si se diversifican las producciones de la industria panelera, entonces se puede lograr la estabilidad económica y la sostenibilidad, a través del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Proponer *in silico* una alternativa de diversificación de la producción de panela en la Provincia de Pastaza para el aprovechamiento del bagazo.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- 1 Caracterizar la producción de panela en la provincia de Pastaza y su diversificación.

- 2 Definir la estrategia de diversificación de la caña de azúcar en la provincia de Pastaza.
- 3 Determinar *in silico* la capacidad óptima de producción de la estrategia de diversificación.

1.4. JUSTIFICACIÓN.

La presente investigación se realiza porque en la Provincia de Pastaza existe un inadecuado aprovechamiento del material lignocelulósica, es decir, bagazo que limita el desarrollo de las paneleras.

El proyecto sirve para proponer alternativas de diversificación de la producción de panela aprovechando el bagazo de caña de azúcar del proceso de obtención de los productos, ya que el mismo es colocado a la intemperie de dichas paneleras. Por motivo que el material lignocelulósica contiene materiales orgánicos e inorgánicos beneficiosos, que mediante tecnologías y metodologías pertinentes pueden ser transformados en productos como papel, pulpa, ácido cítrico, glucosa, furfural, ácido láctico, etanol, yeso, etanol y cogeneración, que ayudan a optimizar los procesos y recursos.

El propósito es proponer posibles soluciones a la situación actual de la Provincia y diversificar los productos de oferta en el mercado, a través de *in silico* de la diversificación. Los beneficiarios directos del proyecto son las paneleras, emprendimientos, y los indirectos son la sociedad y el mercado. Este estudio brindará información detallada sobre el proceso de pretratamiento del bagazo de caña, productos resultantes de diferentes tipos de hidrólisis y las condiciones de fermentación para obtención de ácido cítrico y etanol.

Para lograr los objetivos del proyecto se revisaron artículos científicos de alta relevancia e información confiable que permiten manejar el diseño.

Se propuso el diseño *in silico* porque permite obtener valores cercanos a la realidad de equipos, procesos, balances de materia y energía, evaluación económica y evaluación ambiental que proyecta el punto de equilibrio y cuando una producción es económicamente viable. Posee la ventaja del ahorro de tiempo y dinero en la realización del proyecto.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN. MARCO CONCEPTUAL

2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PANELERA EN LA PROVINCIA DE PASTAZA.

Se menciona en la introducción, la provincia de Pastaza cuenta con más de 110 panelares y pocas destilerías que generan una cantidad significativa de material lignocelulósica (bagazo de caña de azúcar), a partir de la elaboración de productos principalmente la panela en bloque, alcohol y miel en menor cantidad. Se obtiene cachaza, melaza y bagazo. El rendimiento de cada hectárea es de 55T/ha. La cachaza y melaza son utilizadas como alimento de animales poligástricos y como abono, o simplemente son arrojadas como desperdicios (GADPP, 2016; Sablón Cossío et al., 2016).

El bagazo es almacenado a la intemperie, utilizándolo como leña en algunos hornos. Sin embargo, existe una diferencia significativa que es arrojado en calles y terrenos como abono. Por lo tanto, existen pocos productos elaborados a partir de la caña de azúcar en la Provincia de Pastaza, a continuación se describe cada producto o derivado de la caña de azúcar (Trávez Peñafiel, 2011).

2.1.1. PANELA.

La panela tiene un único ingrediente, que es el jugo de caña de azúcar, que al no pasar por procesos de refinado, ni químicos conserva sus nutrientes como sacarosa, glucosa, fructuosa, vitaminas A, C, D, E, calcio, hierro, potasio, fósforo, magnesio, cobre, zinc y manganeso. El cual es elaborado en fábricas denominadas trapiches donde el jugo de caña se somete a un proceso de evaporación y cristalización en moldes. Siendo utilizado como endulzante para diferente tipo de bebidas (Olmedo Junco, Cuzco Piña, & Murrieta, 2006).

La panela sirve para endulzar zumos, infusiones, tés, entre otros., es considerado como el azúcar más puro por su principal característica de obtención por evaporación del jugo de caña y su proceso de cristalización de la sacarosa, lo cual permite la conservación de todas las vitaminas y minerales que se encuentran presentes en la caña de azúcar. La industria panelera artesanal, se ha convertido en una alternativa del campesino. La comunidad puede aprovechar al máximo los recursos naturales, por su peculiaridad de ser renovables, permiten la generación de una economía sustentable (Olmedo Junco et al., 2006).

2.1.1.1. PRODUCTOS ELABORADOS CON PANELA EN OTRAS PROVINCIAS.

Existen una gran variedad de productos que se pueden elaborar de la panela, dentro de ellos están (Elizalde Largo, 2015):

1. Bocadillos: “producto de la creatividad de las abuelas en la cocina”, dice: el historiador lojano Bernardo Cuenca, siendo la mezcla de miel de caña con el maní tostado molido. La panela es calentada hasta formar un caramelo posterior se añade maní.
2. Turrón o Blanqueado: La panela es llevada a miel mezclada con azúcar hasta su punto, la textura adquiere una elasticidad necesitando ser estirada en constante movimiento hasta adquirir su color característico, blanco natural. Finalmente se procede al corte, secado y empaçado.

2.1.2. MELAZA O MIEL DE CAÑA.

Se denomina melaza residual o melaza final al subproducto de la industria azucarera, el mismo que se le ha substraído el máximo de azúcar, utilizado como materia prima para producir levadura, ron y alimento animal. Existen cuatro alternativas principales de utilizar la melaza, las cuales no se realizan en la provincia. (Paucar Verdejo & Robalino Jácome, 2009):

- 1) En piensos secos con la función de mejorar su aceptabilidad, sedimenta el polvo y sirve como aglutinante. Siendo capaz de reemplazar en los piensos a otros carbohidratos de elevado precio. Posee un efecto laxante. En la elaboración de piensos mixtos comerciales sus proporciones no sobrepasan los siguientes porcentajes: bovinos 15%, terneros 8%, ovinos 8%, cerdos 15% y en aves de corral 5%.
- 2) En la preparación de ensilaje, gracias a la ventaja que la melaza fermenta con rapidez, no superando el 5%, actuando como preservador. Incorporando a la preparación alto valor nutricional y apetecibilidad.
- 3) Como portador de urea a una concentración del 10%, principalmente en los suplementos líquidos para rumiantes.
- 4) Como sustituto del grano para pienso.

Es considerado como un producto líquido espeso derivado de la caña de azúcar, es obtenido del residuo restante en el proceso de extracción de los azúcares. De color parduzco oscuro, de sabor dulce con un mínimo regusto amargo. Contiene alto valor en hidratos de carbono, vitaminas B, minerales como el hierro, cobre y magnesio (Salazar Riofrío, 2012).

2.1.3. ETANOL.

El bioetanol puede ser producido a partir de diferente material lignocelulósica, recalando que el bagazo de caña es una alternativa potencial por su disponibilidad y costo barato. La producción de etanol se realiza por diferentes vías, diferenciados por la generación de azúcares monoméricos como: hidrólisis ácida concentrada o diluida e hidrólisis enzimática (Albernas Carvajal, Corsano, González Cortés, & González Suárez, 2017).

La producción de alcohol constituye el esquema de la diversificación, por sus alternativas de uso en producción de ron y aguardiente (Saura & Otero, 2008).

Los azúcares obtenidos de la hemicelulosa previo al proceso de hidrólisis son convertidos en etanol a través de microorganismos. Ya que los microorganismos con capaces de producir etanol de una manera eficiente a partir de hexosas y pentosas, posterior se realiza un proceso de destilación (Albernas Carvajal, Corsano, Mesa Garriga, Santos Herrero, & González Suárez, 2014).

Se obtiene 0.51Kg de etanol por cada Kg de glucosa transformada y 0.51Kg de xilosa transformada al 100% de una reacción (Zumalacárregui, Pérez Ones, Rodríguez Ramos, Zumalacárregui, & Lombardi, 2015).

2.1.4. CACHAZA.

Es un residuo obtenido durante el proceso de filtración de los jugos, contiene cera cruda, grasas, fibra, azuceres, proteína cruda, nitrógeno, nutrientes, etc., que dan un gran valor a la cachaza. En algunos países la esparcen en los mismos campos de caña que actúa como fertilizante. De la misma cachaza se puede extraer cera que es empleada para la fabricación de betún, cosméticos, emulsión de cítricos y frutos frescos de exportación, entre otros. Los subproductos como las grasas y aceites que son útiles como fuente de energía y alimentación de ganado (Aguilar Rivera, 2014a).

2.1.5. BAGAZO.

Se menciona que el 60% del bagazo producido se utiliza como combustible en los trapiches. Las fibras de bagazo son de 2 clases: finas, fuertes y flexibles (fabricación de pulpa y papel de gran calidad) y fibras cortas o material meduloso (da poco o ninguna pulpa). Estas fibras contienen aproximadamente el 20% de lignina. El bagazo es empleado en la producción de furfural (Pattana Laopaiboon, Arthit Thani, Vichean Leelavatcharamas, & Lakkana Laopaiboon, 2009).

El bagazo fue conocido como fibra útil en la producción de pulpa hace más de 100 años, pero en escala industrial a partir de 1939 en las plantas de pulpa y papel una en Paramonga, Perú y la otra en Tatú, Taiwán (Elizalde Largo, 2015).

En el mundo más de 40 molinos producen a partir de caña de azúcar diferentes tipos de papel que son usados en impresión, escritura, empaque y papel periódico. Como subproducto de la molienda es utilizado como combustible en los mismos ingenios. Se emplean para alimentación de animales, utilizado como forraje añadiendo concentrado proteico o mezcla de urea o urea-melaza por su bajo contenido en nitrógeno (Elizalde Largo, 2015).

2.2. BAGAZO: COMPOSICIÓN Y CONSERVACIÓN.

El material lignocelulósica mayor apreciado entre los países tropicales es el bagazo de caña de azúcar, es un residuo obtenido después de la extracción del jugo de caña (*Saccharum officinarum*) en un trapiche artesanal posee una eficiencia hasta el 66% a diferencia de la molienda industrial con eficiencia hasta el 97% (Campués Tulcán & Tarupí Rosero, 2011).

El bagazo es la fracción fibrosa que varía en su composición por factores extrínsecos e intrínsecos como su genotipo, madurez y medio ambiente. Es un residuo del proceso de fabricación del azúcar a partir de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), después de su proceso de molienda (Aguilar Rivera, 2011).

Su estructura está compuesta principalmente el 50% de agua, 48% de fibra, el 2% de sacarosa. Su composición fibrosa del 48% está compuesta de celulosa 21,6%; hemicelulosa 12,48%; lignina 10,08%; cenizas 1,44% y otros 2,4%, en bagazo seco (Ver Tabla1) (Cardona, Rios, Peña, & Rios, 2013; Paturau, 2009). Su composición varía según la variedad de caña, su madurez, el método de cosecha y eficiencia de los molinos (Cardona et al., 2013; Paturau, 2009).

Tabla 1. Conversión de fibra de la composición del bagazo de caña de azúcar seco.

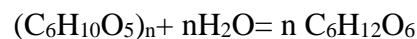
Componentes del bagazo de caña de azúcar	Composición (%)	Componentes de la fibra	Composición (%)
Agua	50	Celulosa	45
Fibra	48	Hemicelulosa	26
Sacarosa	2	Lignina	21
		Cenizas	3
		Otros	5
TOTAL	100%	TOTAL	100%

Fuente: (Cardona et al., 2013)

La biomasa lignocelulósica es un sustrato insoluble con una estructura compleja, por tal motivo se necesita lograr una eficiente conversión de la celulosa en azúcares fermentables. En función a su composición del bagazo seco para un bagazo con un contenido de humedad de 50% su contenido de celulosa y hemicelulosa por tonelada depende de la cantidad de bagazo húmedo (Zumalacárregui et al., 2015).

2.2.1. CELULOSA.

Es un polisacárido que por hidrólisis puede producir glucosa y posteriormente puede ser transformada en diferentes productos de interés tales, como pulpa de papel, papel Kraf, entre otros. La celulosa está formada por unidades de glucosa, alrededor de 7 000 a 15 000 unidades de polímeros de celulosa. Por lo tanto, su transformación a monómero se representa de la siguiente fórmula química (Albernas Carvajal et al., 2017; Albernas Carvajal et al., 2014).



Es un homopolisacárido compuesto de cadenas lineales de B-unidas de D-glucosa unidas por B-1,4 enlace glicosídico. Las cadenas están unidas por un fuerte enlace de hidrógeno que forma las cadenas de celulosa en microfibrillas, caracterizándose de forma cristalina, las mismas se agrupan para formar fibras de celulosa. La celulosa se compone de región cristalina de forma organizada en una matriz amorfa de hemicelulosa, lignina y pectinas. Como resultado la lignina y hemicelulosa están presente en el espacio entre las fibrillas de micro celulosa en las paredes celulares primaria, secundaria y laminilla media. A partir de la celulosa se obtiene glucosa (Kumar, Gautam, & Dutt, 2016).

2.2.2. HEMICELULOSA.

Son cadenas más cortas entre 500 a 3 000 unidades de xilosa, formadas por el 80% de xilosas, siendo su único componente presente. Al realizar un proceso de hidrólisis se cumple la máxima relación xilano/hemicelulosa de 1.136. Por cada tonelada de bagazo húmedo se dispone teóricamente de 0.278Kg de glucosa y 0.170Kg de xilosa (Zumalacárregui et al., 2015).

Las hemicelulosas son los heteropolímeros ramificados que consisten en azúcares de pentosa como D-xilosa y L-arabinosa y azúcares de hexosa de D-manosa, D-glucosa y D-galactosa con xilosa de más abundancia. La hemicelulosa pierde su componente de xilano, manano y arabinano galactano como principal heteropolímero. Xilosa es el principal componente estructural de las hemicelulosas de las plantas, a más de ser el segundo polisacárido

renovable y abundante precedido de la celulosa. Representando un tercio de todo el carbono orgánico renovable de la tierra. La capa de xilano, gracias a su interacción covalente a la lignina y su enlace no covalente con la celulosa es esencial en el mantenimiento de la integridad de la celulosa in situ y en la protección de las fibras celulósicas contra la degradación de celulasas (Kumar et al., 2016).

2.2.3. LIGNINA.

Es considerado como un agente inhibidor de la fermentación. La lignina es una barrera protectora alrededor de la celulosa y hemicelulosa que protege a los polisacáridos. La lignina es un material polifenólico, amorfo que posee una estructura tridimensional, a partir de ácidos y alcoholes fenilpropílicos, por lo tanto, es un polímero aromático, formado por unidades de propano fenilo de enlaces C-O-C y C-C. Contiene metoxilo, fenólico, hidroxilo y grupos aldehído terminales en las cadenas laterales. Actúa como pegamento, se llena el espacio entre y alrededor de celulosa y hemicelulosa que forman parte de la biomasa lignocelulósica que las une fuertemente (Zumalacárregui et al., 2015).

Es un heteropolímero amorfo que hace que la pared celular tenga la propiedad de ser impermeable, resistente microbiano y al ataque oxidativo. La simple presencia de lignina en la biomasa lignocelulósica hace difícil la liberación de azúcares monómeros de holocelulosa. Se pueden obtener extractos tales como terpenoides, esteroides, lípidos, ceras, grasas, cogenación, entre otros (Kumar et al., 2016).

2.2.4. ALMACENAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.

En función a la composición del bagazo de caña de azúcar, por su abundante contenido de agua es necesario almacenarlo en condiciones idóneas, ya que es propenso a un rápido deterioro y se evita la pérdida de la calidad del bagazo. Por ello existen 2 métodos de almacenamiento. El primer método en forma seca y el segundo de forma húmeda, durante un tiempo determinado, sin sufrir transformaciones que impidan su uso posterior (Aguilar Rivera, 2011).

En el proceso de almacenamiento del bagazo se produce el oscurecimiento de fibras por la acción de la presencia de hongos. Al existir presencia por microorganismos benéficos, se puede inocular en condiciones tecnológicas adecuadas se obtiene ácido cítrico, celulosa, pulpa de papel, entre otros. El área de almacenamiento de bagazo es en pilas aglomeradas en húmedo (aproximadamente 60% de humedad), antes de la etapa de pretratamiento (Aguilar Rivera, 2011; Castañón Rodríguez et al., 2015; Eggleston & Lima, 2015).

2.3. DIVERSIFICACIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR. SUBPRODUCTOS.

El bagazo se ha empleado en países de producción de azúcar como materia prima para la producción de energía en las calderas, fabricación de papel, fabricación de paneles aglomerados de fibras, productos farmacéuticos, compuestos químicos, materia orgánica, aditivos alimentarios, alimento animal, papel, combustibles, detergentes, aceites lubricantes, pinturas, productos energéticos, cogeneración de energía eléctrica y vapor, etanol, biodiesel y biogás (Figura 2) (Aguilar Rivera, 2014a, 2017; Aguilar Rivera, Galindo, Fortanelli, & Contreras, 2009; Castañón Rodríguez et al., 2015).

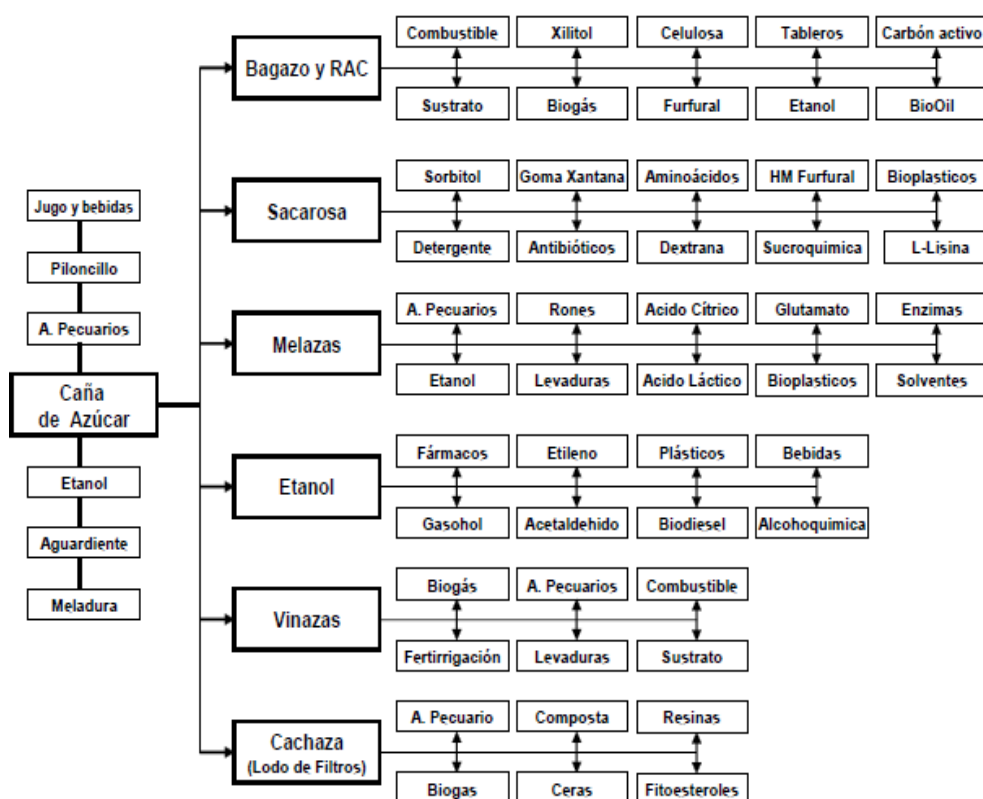


Figura 2. Derivados de la agroindustria azucarera.

Fuente: (Aguilar Rivera et al., 2009).

Esta gama de productos permite que puedan disminuir el período de recuperación de la inversión (PRD) e incrementan la ganancia esperada. Brinda recursos auxiliares como agua, vapor, electricidad. Sin embargo, como consecuencia de la inestabilidad de precios del azúcar en el mercado mundial se puede optar la diversificación de la producción de panela (Mesa Garriga, 2010).

2.3.1. ÁCIDOS ORGÁNICOS.

Son productos naturales de las vías metabólicas de microorganismos. Son de gran utilidad por poseer un grupo funcional que los hacen un sustrato idóneo para la síntesis de productos químicos. Producidos a partir del uso de azúcares como glucosa, xilosa, sacarosa o el uso de hidrolizado de biomasa lignocelulósica. Se clasifican en ácido cítrico, ácido acético, ácido succínico, ácido glucónico, ácido oxálico, ácido láctico, ácido málico, ácido butírico, ácido fumárico, entre otros. Se puede obtener este ácido orgánico de diferentes biomásas como bagazo de caña, palma de aceite, restos de frutas, bagazo de yuca, entre otros. La tecnología empleada para la obtención de ácidos orgánicos es a través de la fermentación en estado sólido y separación (Kumar et al., 2016).

2.3.1.1. ÁCIDO CÍTRICO.

El ácido cítrico pertenece a los ácidos carboxílicos de origen natural y/o sintético que se emplea como un reactivo en síntesis orgánica (Muñoz Villa, Sáenz Galindo, López López, Cantú Sifuentes, & Barajas Bermúdez, 2014b).

Su obtención tradicional por fermentación sumergida de melaza con *Aspergillus niger*. A pesar de ello, la creciente demanda de ácido cítrico ha permitido el desarrollo de medios más económicos para producir ácidos orgánicos como ácido láctico, ácido cítrico a través de la fermentación en estado sólido o “*koji*” proceso, fermentación sumergida, fermentación de superficie (Amenaghawon et al., 2013). La fermentación en estado sólido es más óptima para la producción a menor escala de ácido cítrico (Pérez Navarro, Ley Chong, Rodríguez Maroquí, & Suárez Gonzáles, 2016).

El ácido cítrico es un producto de fermentación con 1,7 millones de toneladas de producción anual. Es un producto químico con una diversa gama de aplicaciones como en biomedicina, nanotecnología, biorremediación de metales pesados. El principal hongo productor de ácido cítrico es el *A. niger* y el proceso de fermentación en estado sólido (Kumar et al., 2016).

El almacenamiento del bagazo se produce el oscurecimiento de fibras por la acción de la presencia de hongos, que al existir microorganismos benéficos, se puede inocular en condiciones tecnológicas adecuadas se obtiene ácido cítrico, celulosa, pulpa de papel, entre otros (Aguilar Rivera, 2011; Castañón Rodríguez et al., 2015; Eggleston & Lima, 2015).

Los microorganismos capaces de producir y acumular ácido cítrico son las especies de los géneros *Aspergillus*, *Citromyces*, *Penicillium*, *Monilia*, *Candida* y *Pichia*. Pero las especies de *A. niger*, se emplean para este tipo de producción, porque presentan un baja actividad

de las enzimas isocitrato deshidrogenasa y aconitaza y alta actividad de citrato sintetasa (López Ríos, Zuluaga Meneses, Herrera Penagos, Ruiz Colorado, & Medina de Pérez, 2005).

La producción mundial de ácido cítrico el 99% se produce mediante procesos microbianos, que se desarrollan en cultivos sumergidos o estado sólido. Es comercializado como ácido anhidro o monohidrato y cerca del 70% de la producción total de 1,5 millones de T/año, se utiliza en la industria de alimentos y bebidas, el 20% en industria farmacéutica y el 10% como agente de formación de espuma para el ablandamiento de textiles. La tecnología de producción de ácido cítrico es por vía fermentativa involucra tres fases: preparación e inoculación de la materia prima, fermentación y separación del producto, a través de la aplicación CaOH y ácido sulfúrico (López Ríos et al., 2005; Muñoz Villa, Sáenz Galindo, López López, Cantú Sifuentes, & Barajas Bermúdez, 2014a) (Soccol, Vandenberghe, Rodrigues, & Pandey, 2006).

2.3.1.2. ÁCIDO SUCCÍNICO.

Es un ácido dicarboxílico C4, producto químico de interés en las industrias de alimentos, agrícolas y farmacéutica. Utilizado para obtener derivados como ácido adípico, 1,4 butanodiol, entre otros. Sin embargo, en la actualidad se sintetiza de procesos químicos de petróleo. Pero existe la alternativa de la producción mediante la fermentación empleando sustratos de bajo coste como tallo de maíz hidrolizado, caña de azúcar, etc. Los microorganismos que producen naturalmente el ácido son *Actinobacillus succinogenes*, *succiniproducens Anaerobiospirillum*, entre otros. La tecnología empleada para la obtención de ácidos succínico es la fermentación en estado sólido y separación (Kumar et al., 2016).

2.3.1.3. ÁCIDO LÁCTICO.

Es un ácido orgánico con amplia versatilidad de aplicabilidad en alimentos, textiles, farmacéutica, cosmética e industrias químicas. Especialmente para producir ácido y de lactato disolventes poli-láctico. Este poli-ácido láctico es un polímero biodegradable y biocompatible de reemplazo a los plásticos que son derivados de la petroquímica. El ácido láctico es producido por el proceso de fermentación microbiana ya que permite obtener un ácido ópticamente puro a bajas temperaturas y con menor consumo de energía. Pero los sustratos convencionales elevan el coste, pues reemplazando los sustratos por biomasa lignocelulósica es más rentable. La biomasa como salvado de trigo, lodos de papel, bagazo de caña, rastrojo de maíz, entre otros. La tecnología empleada para la obtención de ácido láctico es la fermentación y separación (Kumar et al., 2016).

2.3.1.4. ÁCIDO ACÉTICO.

Se forma principalmente por la conversión que es catalizada por ácido de la biomasa lignocelulósica, a partir de la hidrólisis del grupo acetilo de hemicelulosas. Es eficaz en el fraccionamiento de la biomasa lignocelulósica para producir la pulpa de celulosa y otros productos. La tecnología empleada para la obtención de ácido acético es la fermentación y separación (Kumar et al., 2016).

2.3.2. BIOBUTANOL.

Considerado como el futuro de biocombustible con un potencial de reemplazar a la gasolina, precursor para pinturas, polímeros y plásticos. Para la obtención de este combustible se utilizan diferentes miembros del género Clostridium, a través de acetona-butanol-etanol, fermentación (ABE). Utilizando diferentes sustratos como melaza, permeado de suero, maíz, mandioca, patata, entre otros., que son costosos. Por lo tanto, la biomasa lignocelulósica es una fuente ideal para una producción rentable y sostenible. La tecnología de biobutanol la fermentación acetona-butanol-etanol (ABE) con diversos sustratos como melaza y combustión (Kumar et al., 2016).

2.3.3. ETANOL.

El bioetanol puede ser producido a partir de diferente material lignocelulósica, recalando que el bagazo de caña es una alternativa potencial por su disponibilidad y costo barato. La producción de etanol se realiza por diferentes vías, diferenciados por la generación de azúcares monoméricos como: hidrólisis ácida concentrada o diluida e hidrólisis enzimática (Albernas Carvajal et al., 2017).

La producción de alcohol constituye el esquema de la diversificación, por sus alternativas de uso en producción de ron y aguardiente (Saura & Otero, 2008).

Los azúcares obtenidos de la hemicelulosa previo a un proceso de hidrólisis es convertidos en etanol a través de microorganismos a partir de hexosas y pentosas, posterior se realiza un proceso de destilación. Logrando conseguir 1 litro de etanol a partir de 5.5kg de bagazo de caña de azúcar. La tecnología de producción de etanol es hidrólisis, fermentación, destilación y separación (Albernas Carvajal et al., 2014).

2.3.4. FURFURAL.

La producción de furfural es base de la hidrólisis de las pentosas presentes en los residuos vegetales. Los productos derivados del furfural son diversos como alcohol tetrahydrofurfurílico, tetrahydrofurano y alcohol furfurílico. Poseen aplicaciones en las industrias químicas, farmacéutica, textil, entre otras (Albernas Carvajal et al., 2017).

El furfural y el hidroximetilfurfural son subproductos obtenidos en el proceso de prehidrólisis del bagazo alrededor de 2-2,5g/l (Medina Estevez, Hernández Corvo, & León Martínez, 2012).

Alcohol furfurílico, tetrahidrofurano alcohol tetrahidrofurfurílico, tienen así mismo, muchas aplicaciones en las industrias químicas, textil, farmacéutica, etc. La totalidad de la producción industrial del furfural es sobre la base de la hidrólisis de las pentosanas contenidas en residuos vegetales (Mesa Garriga, 2010).

Por cada 100 gramos de bagazo utilizados se obtiene 16, 44 gramos de furfural, representando el 87,5 % del rendimiento teórico de obtención de furfural a partir de las pentosas presentes en el bagazo de caña. Como consecuencia de este procedimiento se obtiene un sólido rico en glucosa y lignina (Mesa Garriga, 2010).

Se obtuvieron los mejores resultados, referidos a la concentración el rendimiento de glucosa, aplicando etapas de pretratamiento, una etapa dedicada a separar para obtener productos a partir de la fracción xilano y otra etapa utilizando las condiciones de 30% v/v de etanol, 3 % de NaOH, 60 minutos de pretratamiento y 185°C de temperatura (Mesa Garriga, 2010).

La obtención de furfural se considera como un coproducto de la tecnología de obtención de etanol de bagazo. Se demuestra que el TIR es alrededor de 2,5 años. Lo que recalca que en la diversificación de la producción de panela alcanza rentabilidad en el proceso. Se obtuvo la concentración de glucosa, después de la hidrólisis durante 24 horas fue de 52.45g/l con una concentración de 79,53% de rendimiento, considerando que el 62% es el rendimiento teórico. Logrando conseguir 1 litro de etanol a partir de 5.5kg de bagazo de caña de azúcar. La tecnología de producción de furfural es hidrólisis y separación (Albernas Carvajal et al., 2017).

2.3.5. VAPOR.

Una parte de los bagazos generados en la industria azucarera, paneleros y destilerías es empleada como generador de vapor por combustión durante los procesos de obtención de los productos a obtener, previo a un proceso o tiempo de secado. La paja de caña se utiliza para la generación de vapor, como consecuencia disminuye costos de producción (Albernas Carvajal et al., 2017).

La cogeneración se logra con una operación rentable de la fábrica y al obtener vapor en las calderas a mayor presión y temperatura, incrementando el aprovechamiento de la energía del

vapor. A partir de 2,2 kg de vapor por kg de bagazo con 50% de humedad presenta eficiencia de 80% a 84% (Saura & Otero, 2008).

Por lo tanto, existen sistemas sobre el consumo energético con el uso eficiente del bagazo, consecuentemente disminuye la contaminación ambiental. La tecnología de generación de vapor es secado, combustión, generación de vapor (Aguilar Rivera, 2010).

2.3.5.1. ENERGÍA.

La materia seca de la caña de azúcar cuando se quema libera 4 250kcal/kg, sobre la base de rendimientos agrícolas de 100 T/ha. Por lo tanto, se puede obtener un rendimiento agrícola de 149 millones de kcal/ha-año lo que equivale a 14,9 T de petróleo, mediante la cogeneración y presiones adecuadas se puede generar hasta 40 kW/h de energía eléctrica. La tecnología de generación de vapor es el proceso combustión (Saura & Otero, 2008).

2.3.5.2. BIO-HIDRÓGENO.

Alternativa de energía en el futuro, por su característica de ser portador de energía limpia y renovable. El hidrógeno contiene más energía, a diferencia de los demás combustibles convencionales como de hidrocarburos y de fósiles. El hidrógeno tiene la facilidad de ser producido por hidratos de carbono que posee la biomasa lignocelulósica (bagazo de caña de azúcar) por fermentación bacteriana de hidrógeno. La tecnología de generación de vapor es secado, combustión, generación de vapor. La tecnología del bio-hidrógeno es la fermentación bacteriana de hidrógeno como sustrato el bagazo de caña de azúcar y combustión (Kumar et al., 2016).

2.3.5.3. BIOMETANO.

Es una alternativa de producir energía, a través de la digestión anaerobia o biometanización, composición principal de metano y dióxido de carbono. Utilizado para producir electricidad, combustible para vehículos. La tecnología de biometano es la digestión anaerobia o biometanización y combustión (Kumar et al., 2016).

2.3.6. XYLITOL.

Es un alcohol de alto valor de azúcar por contener cinco carbonos, siendo derivado de la xilosa, presente en ciertas frutas y verduras. Empleado como endulzante para personas diabéticas, en pastas de dientes, en recubrimiento de tabletas de vitaminas, etc. La tecnología de producción de xilitol es la hidrogenación química de xilosa pura en presencia de un catalizador o por fermentación en presencia de microorganismos y separación (Kumar et al., 2016).

2.4. ESTRATÉGIAS DE DIVERSIFICACIÓN.

La naturaleza orgánica de coproductos y subproductos generados por la caña de azúcar, poseen la potencialidad de su reutilización y la creación de estrategias de diversificación tales, como cogeneración, etanol, etc. El uso en la agroindustria azucarera es basado en la diversificación de la producción de la panela, mediante el uso el aprovechamiento integral de la materia prima y los subproductos que se generan en la cosecha, así como también en el procesamiento de panela, etanol, vapor, energía eléctrica, tableros, furfural, papel, ácido cítrico, entre otros (Aguilar Rivera, 2014b).

El proceso de diversificación permite maximizar los factores de producción tales como capital, mano de obra, tierra, tecnología, recursos, experiencia; generando un impacto positivo a la rentabilidad y viabilidad económica, a la vez conservar los recursos no renovables y ambiental (Aguilar Rivera, 2014b).

Se emplean diversos términos como diversificación, reconversión, reestructuración o reingeniería de la agroindustria azucarera es una alternativa y estrategia lógica, permite el desarrollo de la competitividad y sostenibilidad mediante el uso de la caña y la aplicación de adelantos científicos-técnicos, integración del campo y la industria, desarrollo tecnológico y trabajo multidisciplinario (Aguilar Rivera, 2014b).

Existen alternativas de diversificación enfocadas al crecimiento de la empresa basada en la estrategia de expansión y estrategia de diversificación. Sin, embargo la primera se caracteriza por mantenerse en el mismo mercado con los mismos productos, la segunda se enfoca en generar nuevos negocios mediante nuevos mercados y productos (Aguilar Rivera, 2014b).

Por lo tanto, se optó por la estrategia de diversificación, por permitir la entrada de la empresa a nuevos negocios mediante nuevos productos y mercados, siendo beneficiosos para la provincia. Al seleccionar la estrategia de diversificación se toma en cuenta que se clasifican 2 tipos de diversificación (Aguilar Rivera, 2014b).

- 1) Diversificación relacionada: existen recursos compartidos entre los negocios, canales de distribución semejantes, mercados comunes, tecnologías, etc.
- 2) Diversificación no relacionada: implica un mayor grado de ruptura, ya que los nuevos productos y mercados no mantienen ninguna relación con los tradicionales de la empresa de origen.

Optando por la diversificación relacionada que permite una integración de los nuevos productos y mercados, proveedores, etc.

Dicha estrategia mencionada se clasifica en cuatro tipos (Aguilar Rivera, 2014b).

- 1) Horizontal: Consiste en que los nuevos mercados la empresa vende u oferta productos semejantes a los tradicionales. Se realiza en el exterior de la cadena de valor de la empresa.
- 2) Vertical o integración vertical: busca asegurar la colocación de los productos relacionados al ciclo completo de explotación del sector base de la empresa matriz en su propia unidad económica, logrando que la empresa se convierta en su propio proveedor o cliente. Ayuda a las empresas a mejorar su nivel de competitividad a través de sinergias en su cadena de valor.
- 3) Concentrada: la empresa produce nuevos productos relacionados con el proceso tradicional y los vende en nuevos mercados o en el tradicional.
- 4) Conglomerada: cuando los nuevos productos y mercados no están relacionados con los productos y mercados habituales de la empresa.

A juicio del autor se escoge la diversificación de tipo integración vertical por las condiciones de la producción de panela en la Provincia. Tomando en cuenta que existe la disponibilidad de bagazo de caña de azúcar, permitiendo un ciclo cerrado, el mismo que disminuye costos en función a la materia prima a utilizarse.

Sin embargo la diversificación ha ido evolucionando, que hoy en día se conoce un nuevo término de “biorrefinerías” son instalaciones de transformación de biomasa en productos de valor agregado tales como: combustibles, energía, químicos y entre otros. Obliga la biorrefinería de la caña de azúcar requiere la integración de la destilería, utilizando mieles finales, jugos, mieles intermedias, bagazo, residuos de cosecha como energéticos, a la vez evita la quema de los cañaverales. La diversificación o biorrefinerías han ido mejorando de producciones simples hasta producciones química sintética, biotecnología (Aguilar Rivera et al., 2009).

Al emplear la estrategia de diversificación tiene los siguientes beneficios (Porter, 2017):

- 1) Introducción a nuevos mercados: incrementan las posibilidades de negocio, así mismo incrementan los beneficios económicos.
- 2) Aprovechamiento de recursos: las paneleras en la provincia de Pastaza no aprovechan al máximo todos los recursos, residuos, productos, materias primas, etc.

Como resultado de la implementación de la diversificación, aprovecharían los recursos.

- 3) Mayor presencia de marcas: Como resultado de la diversificación incluyen la oportunidad de negocio, posicionamiento de nuevos mercados.

La aplicación de las alternativas de diversificación se puede realizar *in vitro*, a escala piloto y escala industrial, pero demandan mucho tiempo y dinero al ejecutarla. Como consecuencia de lo mencionado, se plantea una herramienta que disminuye tiempo y dinero permitiendo la visualización virtual más próxima a la realidad a través de la simulación de procesos *in silico* (Martínez Sifuentes, Alonso Dávila, López Toledo, Salado Carbajar, & Rocha Uribe, 2003).

La simulación de procesos es una estrategia de ingeniería de procesos, diseño constituido por tres etapas: síntesis de procesos, simulación de procesos y optimización (Ver Figura 3) (Martínez Sifuentes et al., 2003):

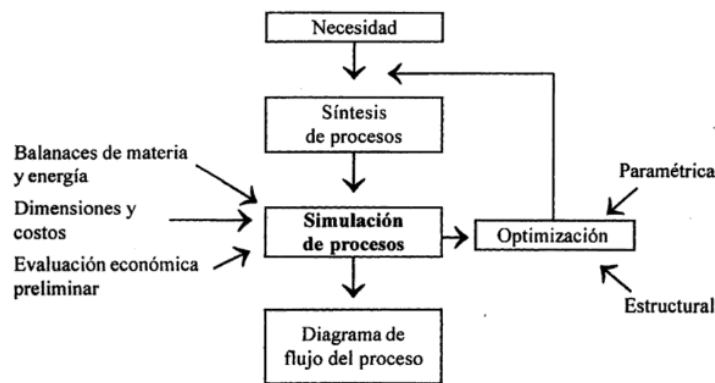


Figura 3. Diseño de procesos. Fuente: (Martínez Sifuentes et al., 2003):

- 1) Síntesis de procesos.-se crea la estructura básica del diagrama de flujo, en el cuál se seleccionan los equipos a ser utilizados, interacciones y se establecen los valores de las condiciones de operación.
- 2) Simulación de procesos.-se requiere solucionar los balances de materia y energía en un proceso en estado estacionario, calcular dimensiones, costos de equipos y permite realizar una evaluación económica preliminar del proceso.
- 3) La optimización.-Esta puede ser paramétrica con la modificación de parámetros como presión, temperatura, o estructural al modificar el diagrama de flujo que involucran los equipos e interconexiones.

2.5. SIMULACIÓN Y SIMULADORES DE PROCESOS QUÍMICOS.

La simulación de procesos es definida como una técnica para la evaluación rápida de un proceso con base en una representación de los mismos, a través de modelos matemáticos. Mediante la solución de programas de computadoras que permite tener un mejor conocimiento del comportamiento de dichos procesos (Martínez Sifuentes et al., 2003).

En 1975 se generó el desarrollo de simuladores con aplicaciones industriales reducidas. En 1980 surgieron compañías elaboradas de software, que desarrollaban paquetes de simulación para su comercialización, pero de difícil interpretación. Entre 1991 a 1995 se inicia la comercialización de paquetes de simulación dinámica e integración de energía. En los últimos años la simulación de procesos ha llegado a ser una herramienta de apoyo para el diseño de procesos químicos y oportuna para el diseño, caracterización, optimización y monitorio del funcionamiento de procesos industriales. Permite efectuar el análisis de las plantas químicas en operación (Martínez Sifuentes et al., 2003).

- 1) Detección de cuellos de botella en la producción
- 2) Predicción de los efectos de cambios en las condiciones de operación y capacidad de la planta.
- 3) Optimización de las variables de operación.
- 4) Optimización del proceso cuando cambian las características de los insumos, condiciones económicas del mercado.
- 5) Análisis de nuevos procesos para nuevos productos.
- 6) Transformación de un proceso para desarrollar otras materias primas.
- 7) Optimización del procesos para minimizar la producción de desechos y contaminantes.
- 8) Análisis de condiciones críticas de control, entre otras.

La simulación de procesos puede usarse en diferentes etapas del desarrollo de un proyecto industrial.

- 1) Investigación y desarrollo
- 2) Etapa crítica en la toma de decisiones.
- 3) Planta piloto.
- 4) Diseño.
- 5) Simulación de plantas existentes.

Existe una diversa variedad de simuladores de procesos comerciales, algunos son herramientas de cálculo en procesos industriales, con inmensas bases de datos y respaldo de bibliotecas para cálculos de equipos y bibliotecas de modelos para cálculos termodinámicos, todas estas cualidades de su versatilidad. Algunos de los simuladores generales (Martínez Sifuentes et al., 2003):

- 1) Aspen Plus, Aspen Hysys, COCO, Pro II (de Simulations, USA), Chemcad (de Chemstations, USA).- Son simuladores en estado estacionario.
- 2) Speedup (de Aspen Technology, USA). -Es un simulador de procesos dinámicos.
- 3) Hysy (de Hyprotech, Canada). -Es útil para los dos tipos de simulación.
- 4) SuperPro Designer. -Es útil por su aplicación a sistemas biotecnológicos.
- 5) ProMax.-Usado en el diseño de procesos convencionales de adsorción-desorción.
- 6) Mathematica, Matlab, Scielab.- Modelos del uso de paquetes de software de cálculo matemático.

Para realizar la simulación de procesos químicos de la alternativa de diversificación de la producción de panela a partir del material lignocelulósica (bagazo de caña de azúcar), se utilizó el software profesional SuperPro Designer porque es útil por su aplicación de sistemas biotecnológicos, recalcando que este software es ampliamente utilizado a nivel mundial para la simulación y diseño de plantas de la industria química y farmacéutica. Que permite: el análisis de aproximadamente 80 operaciones unitarias; crear bases de datos de compuestos químicos, equipamiento y materiales de construcción; generar balances de masa y energía de procesos integrados y generar un análisis económico detallado (Martínez Sifuentes et al., 2003).

El software facilita la modelación, evaluación y optimización de procesos integrados en industrias, ya sean procesos continuos o por lotes (Garrido et al., 2010).

Utilizando el simulador *SuperPro Designer* se obtienen los datos del proceso de producción para la diversificación de la producción de panela que permite disminuir el impacto negativo económico, ambiental y tiempo de los procesos como costos de operación, balance de materia y energía, procesos biotecnológicos, producción anual, la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto que permitan determinar la factibilidad del proceso productivo, para determinar si es económicamente viable (Garrido et al., 2010).

2.6. MARCO REFERENCIAL.

Según el Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Pastaza, las organizaciones y pequeños productores de caña son propietarios de los terrenos y cultivos, ubicados en los sectores de Asocap, Apala, Teniente Hugo Ortiz, Juan de Velasco, El Cañaveral, Cajabamba, Aprocat, Fátima, Yantana, Jatunpacha, Mushukwarmi, San Jacinto, Las Américas, Amazonas-Libertad. Como se analizó en la introducción el monocultivo de caña de azúcar es alrededor de unidades de producción real de la provincia de 4 500 ha. Las organizaciones y productores cuentan con equipos e insumos limitados para desarrollar plenamente estas actividades, lo cual deja como consecuencia la baja productividad (GADPP, 2016).

En las paneleras la tecnología es la recepción de materia prima, limpieza, molienda. Posterior a su molienda se obtiene jugo de caña y el bagazo como subproducto. Para el uso del subproducto es almacenado en condiciones favorables disminuyendo su humedad para el proceso de combustión en el proceso de elaboración de panela, etanol y miel. Tomando en cuenta que el bagazo sobrante es aglomerado a la intemperie que influye de manera negativa al rendimiento de fibra y elementos estructurales (Aguilar Rivera, 2011).

Se simuló diferentes tipos de pretratamiento por su gran capacidad de aumentar la disponibilidad de sustratos fermentables e incrementar la diversificación de la producción de panela. El proceso de fermentación, separación, obtención de ácido cítrico, etanol, producción de alcohol y productos de cogeneración (López Ríos et al., 2005).

A nivel nacional se cuenta con 3 empresas reconocidas por su gran cantidad de producción de alcohol a base de melazas como “CODANA” y “SODERAL” S.A. y la empresa Papelera Nacional S. A., que produce papel a partir de la pulpa de bagazo de caña de azúcar (Paucar Verdejo & Robalino Jácome, 2009).

Algunos ingenios nacionales están realizando una serie de experimentos de subproductos de la caña como vinaza, cachaza, ceniza, elaboración de compost en base al bagazo, entre otros. Con el objetivo de mejorar el contenido de materia orgánica, elementos químicos y la textura del suelo. La caña es considerada por ser un cultivo noble, ya que produce el azúcar, absorbe CO₂ del ambiente convirtiéndolo en oxígeno y carbohidratos. Al mismo tiempo sus productos se utilizan en bioetanol, cogeneración como energía eléctrica. Por lo tanto, posee una potencialidad estratégica no sólo producir azúcar y etanol, sino también producir plásticos biodegradables, vacunas, azúcares simples o monosacáridos, entre otros (Elizalde Largo, 2015).

Existe la posibilidad que el bagazo, en el proceso de conversión en las llamadas mieles hidrolíticas y posterior fermentación para la obtención de alcohol y proteínas, para la alimentación animal (Elizalde Largo, 2015). La melaza, residuos de los cañaverales, permite su uso como fuente de energía para el consumo directo de rumiantes y monogástricos, para fermentación con fines biotecnológicos (Martín, 2009).

Para la utilización de residuos, han ido desarrollándose mezclas enriquecidas y alimentos de carácter biotecnológico. Conjuntamente el desarrollo de alimentos a partir de la caña residual, residuos de cosecha y residuales fibroso mejorados. Han logrado aumentar la concentración de energía metabolizable y el contenido de nitrógeno proteico y no proteico. Por lo tanto, la integración de raciones rumiantes y monogástricos abarata los costos de producción y reduce el impacto ambiental negativo (Basanta et al., 2007).

Existe la potencialidad de desarrollar un polietileno de alta densidad a base de etanol de caña de azúcar, para uso como embalaje de alimentos, productos de higiene personal y doméstica, cosméticos, automóviles, entre otros (Paucar Verdejo & Robalino Jácome, 2009).

La cantidad de biomasa vegetal residual denominado, residuos, tiene un gran potencial de poder convertirse en productos de valor añadido como: bioetanol, biometano y otros productos. Se pueden utilizar como fuentes de energía para microorganismos en el proceso de fermentación para producir enzimas lignocelulotías (Kumar et al., 2016).

Por lo tanto, en Ecuador, especialmente en la provincia de Pastaza no existe este aprovechamiento total de la biomasa lignocelulósica. La diversificación de la producción de panela permite la generación de energía, furfural, etanol, ácidos orgánicos, etc. Ya que no existen fábricas diseñadas para ese fin. Pocas paneleras emplean el bagazo de caña de azúcar para la combustión, quedando sobrantes del bagazo que son arrojados a la intemperie.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1. LOCALIZACIÓN Y CONDICIONES METEREOLÓGICAS

3.1.1. LOCALIZACIÓN.

La presente investigación se realizó en la Universidad Estatal Amazónica, ubicada en el km 2 ½ vía Napo (paso lateral), Ciudad Puyo, Cantón Puyo, Provincia de Pastaza, en el programa *SuperPro Designer*.

Ciudad con distancia de 100 km a la Cuidad Ambato (Provincia Tungurahua), a 79km de la ciudad de Tena (Provincia Napo), 129 km de la ciudad de Macas (Provincia de Morona Santiago) (Millána, Kalauzi, Llerena, Sucoshañay, & Piedra, 2009).

La duración de la investigación fue de 400 h para la obtención de datos, tabulación y simulación.

3.1.2. CONDICIONES METEOROLÓGICAS.

La ciudad de Puyo está ubicada a 950msnm, entre 01°30´ Latitud Sur y 77°57´ Oeste. Al Noroeste, Oeste y Suroeste influenciados por la selva tropical Amazonas, al Noroeste y Suroeste interactúa con un cinturón volcánico. El clima oscila de 17°C hasta 24°C (Millána et al., 2009). Las condiciones meteorológicas de la ciudad de Puyo son temperatura media anual de 25°C, precipitación media anual 4321.8 mm y humedad relativa media anual 87.835% (Jaramillo Ponce, 2015).

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

En esta investigación se utilizaron datos de investigaciones realizadas a nivel internacional, nacional, regional sobre la diversificación de la producción de panela. Mediante la metodología (ver Figura 7), planteada por Julián Ricardo, Baltá García, Pérez Sánchez, and Pérez Sánchez (2017), que describe la secuencia de los pasos a seguir para realizar la simulación del proceso de diversificación, gracias a la metodología se obtuvieron diversos productos de valor agregado y de interés agroindustrial.

El carácter de estudio fue cuantitativo por la identificación de la cantidad de cada producto a obtener a partir de una cierta cantidad de bagazo de caña y materiales, que van a permitir generar la evaluación económica y ambiental, para determinar una producción eficiente, viable de manera económica, social y ambiental.

El alcance exploratorio-descriptivo. El presente estudio no posee antecedentes de haberse realizado en Ecuador la implementación total de la diversificación. Sin

embargo, diferentes empresas citadas anteriormente en la Introducción del proyecto demuestran interés por la diversificación, pues elaboran más de un producto y dan mayor aprovechamiento del bagazo de la caña de azúcar, como es la empresa PAPELERA NACIONAL que fabrica pulpa a partir del bagazo de la caña para la elaboración de papel. Siendo un aporte de avance tecnológico, a diferencia en la región Amazónica no tienen una visión clara de la diversificación, ya que en algunos casos elaboran la panela a través del conocimiento empírico y no aprovechan al máximo los residuos y subproductos. Puede ser la incentivación para nuevos estudios e implementación en la ciudad, región o en Ecuador, pudiendo mejorar la economía y rentabilidad de las paneleras.

En este estudio se describen las características específicas para la implementación de la diversificación de la caña de azúcar, se investigó información específica de las paneleras, en cuanto a la cantidad de bagazo generado, productos elaborados. Se realizarán cálculos a partir de la cantidad de materia prima (bagazo de caña) necesaria para la elaboración de diversos productos de valor agregado para evaluar su rentabilidad. Se describen las condiciones de operación en cada una de las etapas, residuos generados, emisiones, subproductos con alternativas de aprovechamiento y posibles remediaciones ambientales.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.

3.3.1. MÉTODOS DE: ANÁLISIS, SÍNTESIS Y COMPARATIVO.

El método de análisis se empleó a partir de la recopilación de información relevante de investigaciones, entre otros realizados por diversos autores, que previo a una lectura se realizó la síntesis de puntos de interés que servirán como referencia y guía para el presente proyecto de investigación y desarrollo. Una vez terminado la síntesis y simulaciones se comparó los resultados en dependencia a diferentes capacidades de materia prima para determinar eficiencia, condiciones de trabajo, el punto de equilibrio y resultados más óptimos y veraces.

El objeto de estudio se fragmentó en objetivos específicos que constituyen parte del cuerpo de la investigación. Se apoya en la definición de un problema, una hipótesis y se realizará la investigación y los resultados, se analizarán en función de la conexión con dichos planteamientos anteriores.

Los datos son sacados de los estudios anteriormente realizados y mediante el estudio se revelan las características fundamentales del objeto de estudio de este trabajo, a través de los procedimientos de la recolección de la información, el análisis y el procesamiento de los datos de los diferentes escenarios de estudio, es decir, simulación.

3.4. FUENTES DE RECOPIACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

La información de obtuvo a través de fuentes primarias y secundarias.

Fuentes primarias:

Simulación-observación directa

Fuentes secundarias:

Artículos científicos, tesis, libros, manuscritos, documentos gubernamentales, página web.

3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

3.5.1. METODOLOGÍA APLICADA PARA LA DIVERSIFICACIÓN.

Para determinar la diversificación se utilizó la metodología planteada por Aguilar Rivera, (2014a) que consiste en una estrategia que nace por la gran necesidad de superación o supervivencia de las empresas. Diversificación o integración vertical, se refiere a la creación de sinergia que se realiza dentro de la cadena de valor, hacia adelante o hacia atrás, posee la ventaja de aumentar los ingresos en un mismo mercado. Es una estrategia donde las empresas o compañías están integradas verticalmente y unidas jerárquicamente en un proceso productivo que pertenece a un mismo dueño que satisfacen paso a paso las necesidades de la empresa o compañía matriz. La estrategia busca satisfacer a las necesidades de insumo, producción y comercialización.

Existen tres tipos de integración vertical que se describen a continuación (Proaño Jiménez & Gallegos Mosquera, 2013).

- 1) Integración vertical compensada.-La compañía establece empresas que le suministran materiales y distribuyen los productos.
- 2) Integración vertical hacia adelante.-La compañía crea empresas que distribuyen o venden productos.
- 3) Integración vertical hacia atrás.-La compañía crea empresas que satisfacen algunos o todos sus insumos de producción con el fin de asegurar el suministro, materiales y calidad del producto final.

En sí, la ventaja competitiva genera cuando el cliente o consumidor logra la visualización de la diferenciación. En la integración hacia atrás en la empresa puede mejorar sus proveedores

y materia prima para brindar el beneficio que el cliente valora. A diferencia al crear la sinergia hacia adelante se centra en mejorar el canal de distribución, es decir, facilita el proceso logístico de entrega incrementando el número de ventas (Sánchez Carreño, 2015).

En la figura 4, indica la cadena de valor que se componen de dos tipos uno de actividades centrales y la otra de actividades de apoyo.



Figura 4. La cadena de valor de Michael Porter. Fuente: (Porter, 2017)

En la figura 5, clasifica las etapas de la cadena de valor que parte desde materias primas hasta el consumo directo.

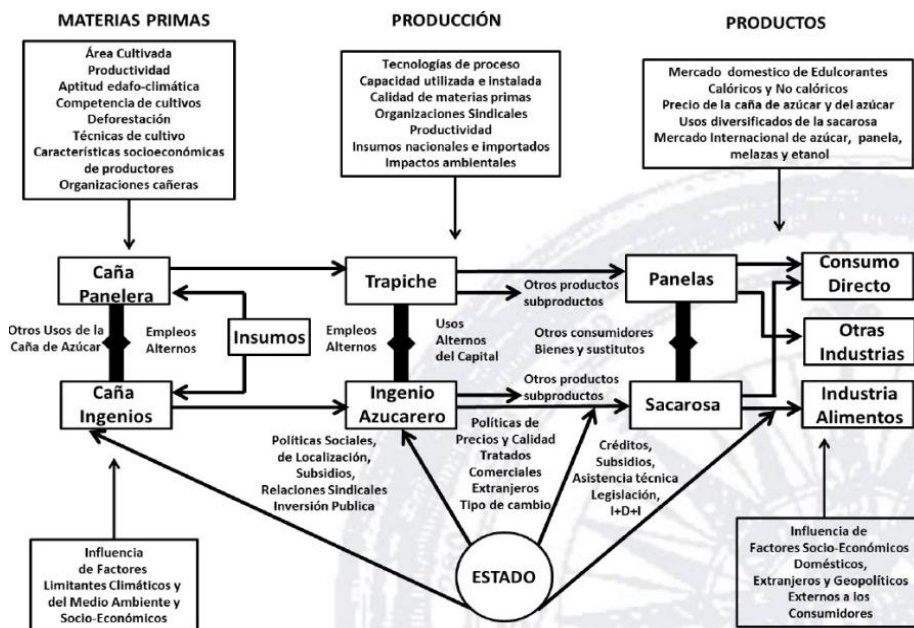


Figura 5. Cadena de valor de la diversificación de la industria azucarera. Fuente: (Aguilar Rivera, 2014c)

Se establecen los pasos necesarios para realizar la estrategia de integración vertical en la diversificación de la producción de panela. Por lo tanto, se escoge la integración vertical que consta de los siguientes pasos (Ver Figura 6).

Los estudios realizados en el proyecto de investigación se pueden realizar a escala laboratorio, piloto o industrial. El desarrollo del proyecto a cualquier escala mencionada conlleva gastos de recursos materiales, dinero y tiempo que implicaría un riesgo con la

inestabilidad de los precios de los productos en el mercado. Por lo tanto, se escogió el desarrollo *in silico*, que permite ahorrar los gastos de recursos materiales, dinero, tiempo y proyectar de una forma más real los procesos y productos a realizarse.

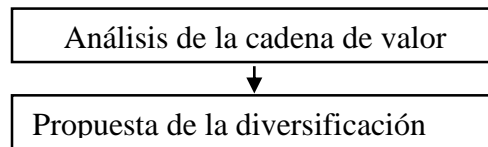


Figura 6. Pasos de la Integración Vertical. Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. METODOLOGÍA PARA LA SIMULACIÓN DE PROCESOS.

Existen una variedad de simuladores de procesos como se mencionó en el epígrafe 2.5. El simulador que se seleccionó por su aplicación a procesos biotecnológicos y ambientales.

La metodología seleccionada para realizar la simulación con el *SuperPro Designer v 9.0* fue la planteada Julián Ricardo, Baltá García, Pérez Sánchez, and Pérez Sánchez (2017) que consta de dos pasos (Ver Figura 7).

- 1) La primera se investigó la entrada de los datos.
- 2) La segunda el proceso de simulación.

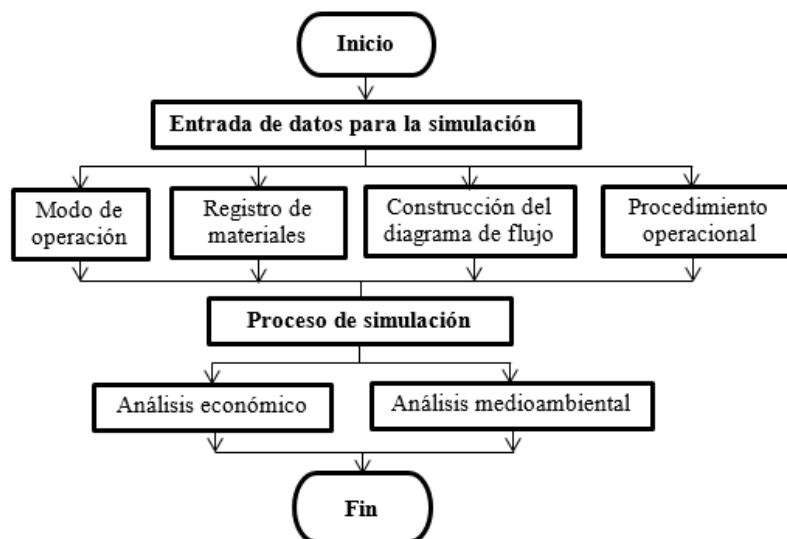


Figura 7. Pasos para realizar la simulación. Fuente: (Julián Ricardo et al., 2017)

3.5.2.1. RECOPIACIÓN DE LA ENTRADA DE LOS DATOS.

El objetivo de este paso es buscar la información necesaria para realizar la simulación. La información que se necesita se agrupo en cuatro momentos (Julián Ricardo et al., 2017).

Modo de operación.-El ofrece dos modos de operación: discontinuo, continuo semidiscontinuo. Se escogió el modo semidiscontinuo por las características necesarias del

proceso de fermentación, con el tiempo de operación anual de 8 760h (365 días). Pero el modo de operación y tiempo de operación pueden ser cambiados con facilidad.

Registro de materiales.-Los componentes y mezclas se registran en el programa, se puede seleccionar de la base de datos de componentes o a la vez pueden ser registrados por el usuario. Los presentes son puros como el nitrógeno, oxígeno y agua. Para el registro de un nuevo componente o mezcla se deben ingresar sus propiedades físicas y medio ambientales, precio de venta, precio de compra. En este proyecto se registraron componentes como hidróxido de sodio, furfural, entre otros.

Construcción del diagrama de flujo del proceso.-Se añade el equipamiento, se incorporan equipos para las etapas de acondicionamiento de bagazo, pretratamiento, producción de ácido cítrico, producción de etanol y cogeneración. Posterior se añaden las corrientes de los flujos de materiales representando la entrada, productos intermedios y productos finales.

Procedimiento operacional.-Los procedimientos operacionales se configuran en el mismo equipo en el programa de acuerdo al tipo de equipo, proceso a realizar y productos a obtener. Dentro de las condiciones de operaciones, también están volúmenes de trabajo, cinética de reacción, datos de emisiones, venteo, obreros y facilidades auxiliares.

3.5.2.2. PARÁMETROS DE SIMULACIÓN.

Durante el proceso de simulación se presentan aspectos relevantes a tener presentes como:

- 1) Humedad presente en el bagazo de caña
- 2) Tipo de pretratamiento de muestras de bagazo
- 3) Determinación del contenido de glucosa en el bagazo hidrolizado
- 4) Determinación de rendimiento y concentración de diversos productos obtenidos
- 5) Proceso de fermentación
- 6) Rendimiento y cantidad de productos (ácido cítrico, furfural, yeso, vapor de combustión)
- 7) Determinación de coproductos (etanol, cogeneración)
- 8) Análisis económico de todos los procesos de producción realizados.

3.5.2.3. CINÉTICA DE LA SIMULACIÓN DE LAS HIDRÓLISIS.

El modelo y los datos cinéticos (coeficientes estequiométricos) son elementales en el diseño, desarrollo, operación y evaluación de los procesos de transformación de los carbohidratos presentes en el material lignocelulósica a azúcares fermentables. Por lo tanto, el rendimiento de la hidrólisis y velocidad de reacción del proceso depende de varios factores como: pH,

temperatura, concentración de la biomasa, tipo de materia orgánica y el tamaño de la partícula.

3.5.2.4. PROCESO DE SIMULACIÓN.

Con la entrada de los datos investigados y analizados se obtuvo los parámetros operacionales que se ingresó al software *SuperPro Designer* para la obtención virtual de diversos productos.

El programa realiza los cálculos de los balances de masa y energía para el diagrama de flujo, se dimensionan y se estima el costo de los equipos, se caracterizan las corrientes de salida en función de si son productos, coproductos o residuos.

Análisis económico.-En este análisis se realiza el costo de operación, costos de materias primas y materiales, demandas de las facilidades auxiliares, empleo de los trabajadores para cada una de las etapas y sus salarios, rentabilidad, costos de utilidades entre otros.

Análisis medioambiental.-Dentro de este análisis se especifican las corrientes y emisiones a la atmósfera, se elaboran reportes ambientales que brindan la evaluación cualitativa y cuantitativa de cada corriente.

3.6. INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.

Los factores de estudio considerados fueron la cantidad de bagazo de caña, la concentración de ácido sulfúrico, concentración hidróxido de sodio, cantidad de enzimas, concentración de glucosa obtenida, cantidad de ácido cítrico, cantidad de furfural, simulación del proceso. Mediante los instrumentos de investigación como programa *Endnote*, *SuperPro Designer* que permiten lograr los objetivos planteados.

Para realizar la simulación de la planta de diversificación de la producción de panela a partir del material lignocelulósica (bagazo de caña de azúcar), se utilizó el software profesional *SuperPro Designer*, recalcando que este software es ampliamente utilizado a nivel mundial para la simulación y diseño de plantas de la industria química y farmacéutica. Que nos permite: el análisis de aproximadamente 80 operaciones unitarias; crear bases de datos de compuestos químicos, equipamiento y materiales de construcción; generar balances de masa y energía de procesos integrados y generar un análisis económico. El software facilita la modelación, evaluación y optimización de procesos integrados en industrias, ya sean procesos continuos o por lotes (Garrido et al., 2010).

3.7. TRATAMIENTO DE DATOS DE LA SIMULACIÓN.

En función a los parámetros relacionados con la depreciación del capital fijo, mantenimiento, aseguramiento y los costos de la disposición o reciclaje.

Para el procesamiento de los datos obtenidos durante la simulación de la diversificación de la producción de panela en el programa *SuperPro Designer*, el cual nos permite la generación virtual de productos, subproductos y cogeneración del bagazo de la caña de azúcar. Se realizara balance de masa y energía, evaluación económica y ambiental para determinar la capacidad óptima en función a la disponibilidad de materia prima en la ciudad.

Con el empleo de la herramienta informática Excel se graficarán los resultados obtenidos en la evaluación económica y ambiental para la generación de histogramas, es decir, gráficas idóneas para la interpretación de los resultados.

3.8. RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES.

3.8.1. RECURSOS HUMANOS.

Los recursos humanos para el desarrollo de la investigación se indican en la tabla 2.

Tabla 2. Recursos Humanos empleados en el proyecto de investigación.

Recursos Humanos empleados	Cantidad (U)
Director del proyecto de investigación	2

Fuente: Elaboración Propia.

3.8.2. RECURSOS MATERIALES.

Los materiales necesarios para realizar el proyecto de investigación de indican en la tabla 3.

Tabla 3. Materiales utilizados en el proyecto.

Materiales	Cantidad (U)
Computadora	1
Cuaderno y Esfero	1

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. ESTRATEGIA DE DIVERSIFICACIÓN.

La aplicación de la estrategia de diversificación de la producción de panela está en función a la situación actual de la disponibilidad de la materia prima en la Provincia, la producción de panela y la generación de residuos de este proceso de producción. En el epígrafe 3.5.1 se definieron dos etapas fundamentalmente de la diversificación relacionada combinada con la integración vertical: análisis de la cadena de valor y la propuesta de la diversificación.

La caracterización de la producción de panela arrojó que existe una oportunidad de diversificación. Esto es evidenciable en la disponibilidad de bagazo que existe por no aprovechamiento del mismo. En el capítulo 2 se ha mencionado que la producción de panela es fundamentalmente artesanal y no se aprovechan los residuos que se generan.

En el capítulo 2 se relacionaron los productos que están reportados en la literatura que se pueden obtener a partir del bagazo; así como sus tecnologías para su obtención.

4.1.1. ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR.

La variedad de productos que se pueden obtener permite generar una cadena de valor que puede tomar diferentes aristas en función de la demanda, la disponibilidad de la materia prima y la viabilidad tecnológica.

La cadena de valor que se analizó incluye la generación de nuevos productos, generación de fuentes energéticas y bio combustibles. El objetivo es lograr la sostenibilidad de la propuesta (Ancajima Condore, Antón Saldarriaga, Saldarriaga Albújar, & Urbina Carnero, 2012; Quezada Moreno et al., 2017).

En la figura 8, se muestra una propuesta de la cadena de valor que se puede generar planteado por Sablón Cossío et al. (2016), que permiten la diversificación de la industria panelera en función a la cadena de valor. Eso permite reducir gastos y genera la cadena de valor.

La cadena de valor analizada es similar a lo planteado por Sablón Cossío et al. (2016) y actores de la cadena de valor permiten lograr la sostenibilidad que coincide con Quezada Moreno et al. (2017). Se emplea el término de biorrefinería por los productos a obtener y por ser fuente de materia orgánica coincidiendo con Aguilar Rivera (2014a), siendo una estrategia lógica que permite el desarrollo de la sostenibilidad. Por lo tanto la cadena de valor analizada permite diversificar el uso del bagazo de la caña de azúcar, porque en la provincia no se aprovecha en su totalidad el bagazo.

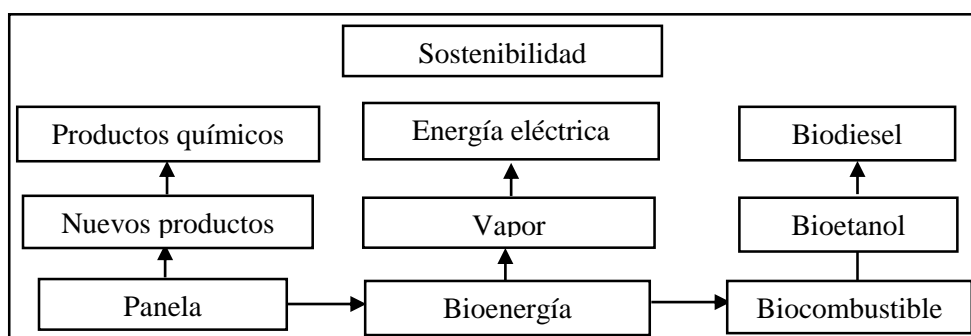


Figura 8. Cadena de valor que permite la sostenibilidad. Fuente: elaboración propia.

4.1.2. PROPUESTA DE LA DIVERSIFICACIÓN.

La estrategia de integración vertical es idónea para ser desarrollada en la provincia ya que las paneleras poseen la capacidad de proveer su materia prima y podrían ser sus distribuidores y se podrían ampliar la cadena de valor de esta industria. Por ende se seleccionaron los productos: ácido cítrico (por el consumo de este producto en varias industrias del país), el etanol y cogeneración porque son procesos que se encuentran implantados en la región.

Se escogió estos productos porque del empírico proceso de la elaboración de panela, etanol y miel, se podrían emplear la cogeneración para su optimización. Al analizar el proceso de obtención de ácido cítrico se evidencia que se pueden obtener diversos productos como resultado de la hidrólisis, logrando así aprovechar al máximo los recursos renovables.

Dentro de los ácidos orgánicos mencionados en el epígrafe 2.3.1, el ácido cítrico reviste una especial importancia en el contexto de Ecuador. Eso se debe a la creciente demanda de este producto aparejado por el desarrollo de la industria alimenticia. Ecuador importa el 87% del ácido cítrico de China (Ver figura de trademap 9).

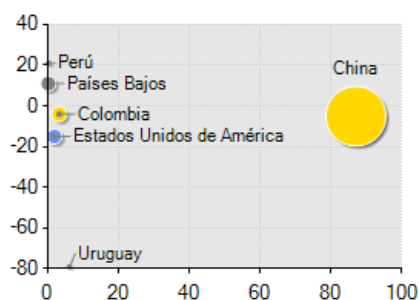


Figura 9. Importaciones de Ecuador de ácido cítrico. Fuente: (TRADEMAP, 2017)

En la figura 9, Ecuador tiene mayor participación en las importaciones de China cerca del 87% de ácido cítrico. Importa 2,81 millones de \$ USD neto del producto.

Este ácido se usa como conservante en los alimentos y bebidas. Se emplea como detergente, aditivos en productos farmacéuticos y cosméticos (Soccol et al., 2006).

El ácido cítrico se puede obtener por fermentación en estado sólido del bagazo de caña de azúcar (Amenaghawon et al., 2013).

Por la demanda creciente del ácido cítrico para la elaboración de productos alimenticios, farmacéuticos entre otros, que coincide con lo planteado por Soccol et al. (2006) y lo consultado en TRADEMAP (2017) sobre las importaciones y demanda permite determinar que existe la posibilidad de incrementar la oferta en función a la disponibilidad de bagazo de caña de azúcar.

Las etapas definidas para la obtención de ácido cítrico se definieron en el epígrafe 2.3.1.1. Estas etapas son: Acondicionamiento del Bagazo (figura 10), Hidrolisis del bagazo (figura 11), fermentación en estado sólido y separación y purificación del producto (figura 12).

En la figura 10, representa el proceso de acondicionamiento del bagazo que comprende la recepción, transporte, lavado, molido, tamizado y transporte de tornillos. Los componentes principales para el proceso de diversificación son lignina, hemicelulosa y celulosa que son esenciales para el pretratamiento. Obteniendo corrientes de residuales como residual de lavado y corriente de partículas (Ver Anexos 1).

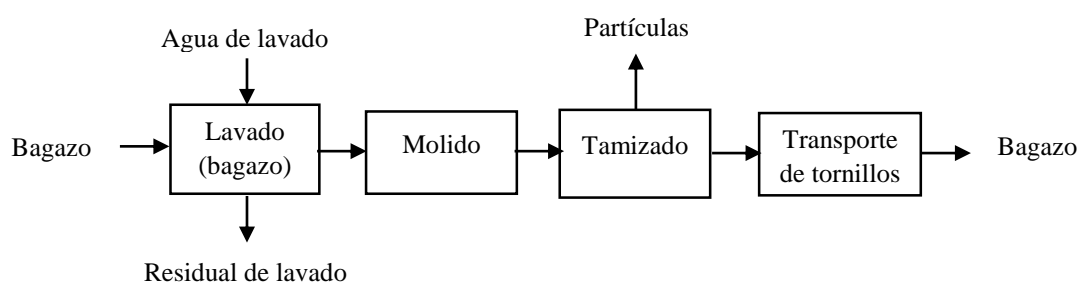


Figura 10. Diagrama de bloque del acondicionamiento del bagazo de la caña.

Fuente: Elaboración Propia.

El pretratamiento del bagazo de caña de azúcar continúa después del transporte de tornillos, incluyen la hidrólisis como ácida, básica y enzimática. Finalmente pasa por un filtro de bandas. Sin embargo, en la hidrólisis ácida se obtiene furfural y azúcares fermentables. Después de cada hidrólisis se sometió a un proceso de filtrado (Albernas Carvajal et al., 2017). Este proceso es imprescindible para descomponer los carbohidratos en monómeros, así permitió obtener los diversos productos ya mencionados. Las corrientes residuales son: residuo de lignina, EtOH, hidrolasas, furfural y bagazo hidrolizado (Ver Figura 11) (Ver Anexos 2).

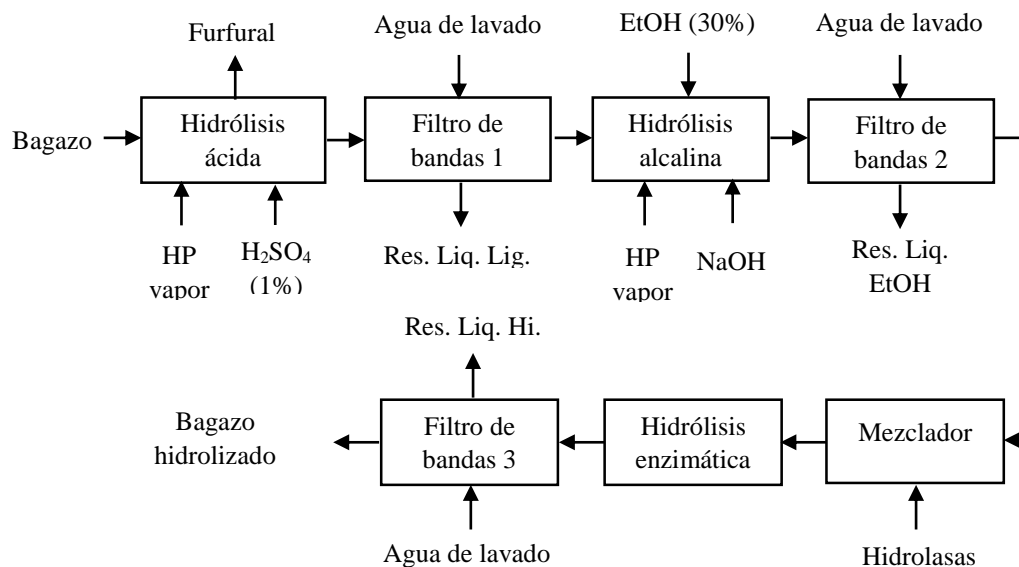


Figura 11. Diagrama de bloque de la tecnología de pretratamiento del bagazo de caña de azúcar. Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 12, Precedido del pretratamiento por el conector de bagazo hidrolizado que previo a los pretratamientos químicos contiene la glucosa hidrolizada (bagazo hidrolizado) en monómeros de azúcares que en presencia de un microorganismo específico *A. niger* se realiza el proceso de fermentación sólida anaerobia. Este proceso consta de mezclado de nutrientes con agua; esterilizado; fermentación que se incorporó el bagazo hidrolizado, mezcla de nutrientes con agua, aire y emana CO₂; etapa de almacenamiento como todo proceso de fermentación se filtró mediante agua obteniendo biomasa; en el mezclado 2 se incorpora la lechada de cal; filtrado 2 mediante agua y se obtuvo azúcares; formación de yeso gracias a la reacción del ácido sulfúrico; filtrado 3 incorporando agua, se obtuvo el subproducto líquido de yeso que será vendido para incrementar las ganancias, obteniendo las partículas se cristaliza, se sometió a un filtrado 4 y finalmente la etapa de secado que se obtuvo el ácido cítrico (Ver Anexo 3).

El método de precipitación es realizado por la adición de óxido de calcio hidratado (leche de cal), se transforma en citrato de tricalcico tetra hidrato siendo soluble. El mismo es recuperado por filtrado, tratado con ácido sulfúrico para la formación de sulfato de calcio (yeso) (Soccol et al., 2006).

La etapa de separación se caracteriza por la formación de yeso por la adición de citrato de calcio que precipita el yeso y la formación del ácido orgánico yeso (Pérez Navarro et al., 2016).

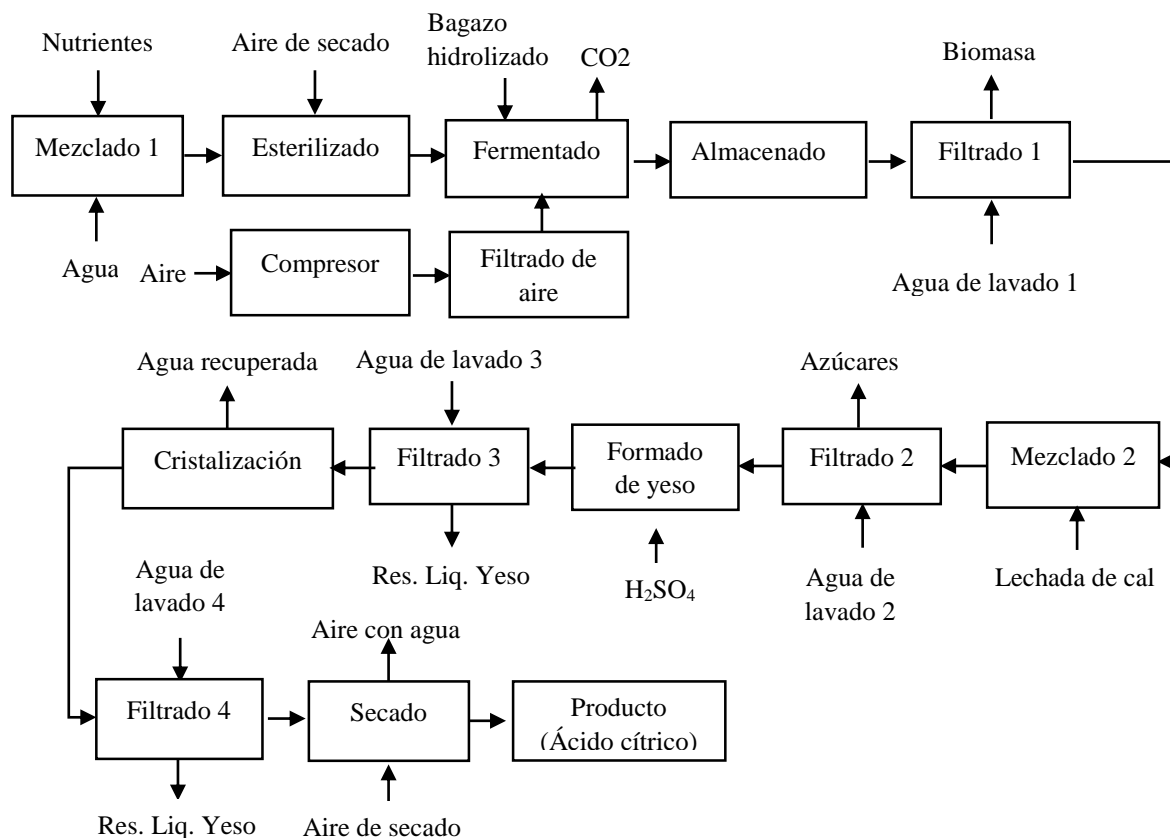


Figura 12. Diagrama de bloque de la tecnología de producción de ácido cítrico.

Fuente: Elaboración propia.

La solución de las aguas madres se tratan con carbón activo permitiendo el intercambio iónico, posterior la etapa de cristalización que concentra al vacío a 20-25°C. Formando monohidrato de ácido cítrico a temperatura superior a 36,5°C. Obteniendo dos desechos que a través de técnicas de precipitación el uno contiene residuo de proteínas, aminoácidos, pigmento, etc., y el otro sulfato de calcio. La primera puede ser secada y empleada como forraje y el segundo útil a fábricas de cementos. Otro método de aprovechamiento es la extracción como disolvente y la cristalización de ácido cítrico (Soccol et al., 2006).

Las etapas de producción de ácido cítrico son separación, purificación, filtración, precipitación, cristalización y secado son complejas y costosas (Ver Anexos 3).

En esta sección las materias primas necesarias son el bagazo hidrolizado (celulosa, xilosa y agua), nutrientes y el microorganismo *A.niger*. Como producto se obtiene el ácido cítrico y corrientes de residuos sólidos (yeso) que se comercializa a la agricultura para el mejoramiento de los suelos o venta. Se obtiene una corriente rica en nutrientes y en el microorganismo que se puede utilizar para producir alimento animal. Las corrientes residuales a obtener son: CO₂, Biomasa, agua recuperada, yeso, azúcares fermentables, aire con agua.

Se seleccionó el proceso de cogeneración porque del proceso de combustión se obtienen energía eléctrica y vapor. La materia prima es por la corriente de partículas que contiene lignina en la etapa de acondicionamiento, se propone quemarla en un proceso de combustión. Esta corriente tiene un gran contenido de agua por lo que se propone mezclar 12 T de bagazo en el proceso de cogeneración (Paturau, 2009).

Por lo tanto el proceso de combustión es un producto de la combustión necesario para la generación de fuente de energía y vapor que permite realizar los mismos procesos de elaboración de productos en una misma producción y por ende se disminuyen costos de energía eléctrica y costos de producción. Lo mencionado coincide con lo planteado por Aguilar Rivera (2014a).

En la sección de cogeneración (ver figura 13) la materia prima es el bagazo por su contenido en celulosa, lignina y hemicelulosa y la corriente con contenido de lignina que se conectan al equipo de mezclado ingresa agua RO, gas de combustión, bagazo a la caldera que una vez terminado el proceso de combustión pasan a la turbina de vapor.

Obteniéndose como cogeneración tales como, electricidad, vapor saturado, vapor a presión media, vapor a presión baja que son recirculados en el proceso y la energía eléctrica es destinada a la venta, disminuyendo los gastos por combustibles y cenizas como residual. La cogeneración consta de mezclado, utilizando una caldera y una turbina de vapor para mejorar el proceso (Ver Anexos 4).

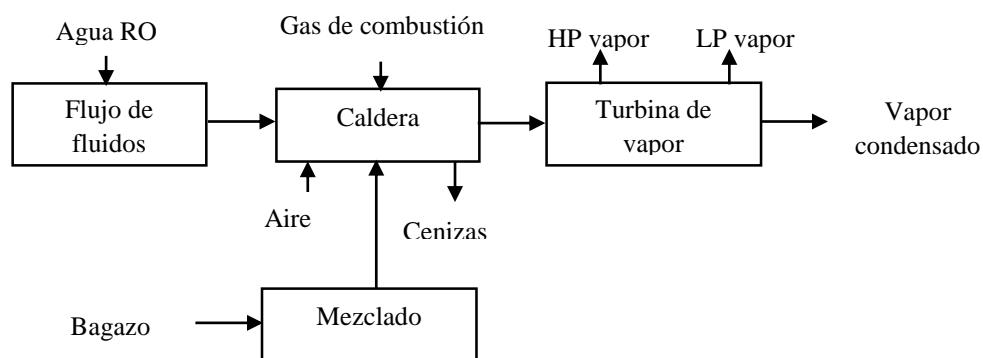


Figura 13. Diagrama de bloque de la tecnología de cogeneración.

Fuente: Elaboración Propia.

La producción de etanol se escogió porque Ecuador importa el 94% de Perú y el 2% de Alemania y por su versatilidad en uso como bebida alcohólica o biocombustible a través del uso de bagazo, las corrientes de los azúcares fermentables que no reaccionaron en la producción de ácido cítrico y xilosa.

Por lo tanto el etanol posee la facilidad de ser empleado como biocombustible coincidiendo con lo planteado por Aguilar Rivera (2014a) y Aguilar Rivera (2011) que permite un nuevo y futuro mercado de usos de energías renovables. Incrementando los beneficios económicos y ambientales.

La producción de etanol parte desde el equipo de mezclado unido a un conector la corriente que contiene los azúcares fermentables que no reaccionaron en el proceso de obtención del ácido cítrico. Esta corriente contiene xilosa, glucosa y agua. La producción de Etanol (figura 14 y Anexo 5), parte del mezclado de los azúcares fermentables que no reaccionaron en el proceso de producción de ácido cítrico para la fermentación de las semillas con aire, emando CO₂, fermentación de producción con el microorganismo *Saccharomyces cerevisiae* con la incorporación de aire a través de un compresor igualmente emana CO₂, posterior el proceso de almacenamiento, pasa al intercambiador de calor, a continuación al proceso de destilación 1 dejó como residuos vinaza, siguiente etapa de destilación 2 que recircula al intercambiador de calor y finalmente pasa al enfriamiento y se obtuvo alcohol. Las corrientes de residuales son de CO₂ y vinazas.

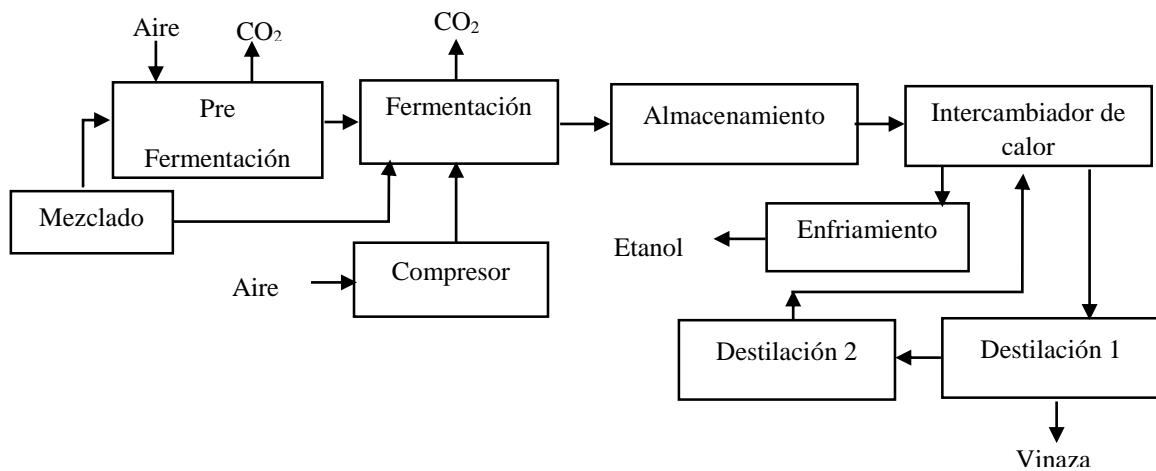


Figura 14. Diagrama de bloque de la tecnología de producción de Etanol.

Fuente: Elaboración Propia.

Por lo tanto, se han elaborado los diagramas de bloques de la estrategia de diversificación de la producción de panela a partir del bagazo de caña de azúcar en la Provincia de Pastaza. El esquema de la tecnología del pretratamiento seleccionado permite aprovechar las potencialidades del bagazo para producir otros productos como son el ácido cítrico a partir de la glucosa obtenida, cogeneración de la lignina de las partículas, etanol de la xilosa y furfural para la venta. Aunque en la literatura menciona que existen varias alternativas de diversificación como son: la obtención de papel, polietileno, entre otros productos de alto

valor agregado, la propuesta obtenida permite lograr una estabilidad en las ganancias por la diversidad de productos que se pueden obtener (Aguilar Rivera, 2014c).

4.2. METODOLOGÍA DE LA SIMULACIÓN DE LA PROPUESTA DE DIVERSIFICACIÓN.

Escogida la estrategia de diversificación, se seleccionó la metodología para realizar la el proceso de simulación de la diversificación de la producción de panela, mediante el software *SuperPro Designer v 9.0*, planteados y descritos en el epígrafe 3.5.2 (Julián Ricardo et al., 2017).

4.2.1. RECOPIACIÓN DE DATOS DE ENTRADA.

Se recopiló información para ingresar al programa para el desarrollo de modo de operación discontinuo, registro de materiales, corrientes de entrada y salida, construcción del diagrama y procedimientos operacionales.

Se identificó la información necesaria de unidades de producción de 4 500 ha, el 30% es destinado para tallo fresco y 70% para elaboración de panela y aguardiente, con un rendimiento de 70,30%, de la producción total existe un 10% de desperdicio.

4.2.1.1. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BAGAZO.

En la caracterización de la producción de la panela en la Provincia de Pastaza analizados en la Introducción arrojó datos necesarios para revolver la ecuación 1, para el cálculo de la cantidad de bagazo de caña de azúcar que se produciría diariamente. Se realizó la estimación de la capacidad en función de la disponibilidad de caña de azúcar en la provincia de Pastaza. A continuación se indican los datos obtenidos y el cálculo de la disponibilidad de bagazo de caña de azúcar en la provincia de Pastaza.

Datos:

Producción de caña de azúcar (PC): 4500 ha

% de cultivo de caña de azúcar útil (CCU): 90%

Rendimiento estimado de caña (RC): 55T/ha

% destinado para la producción de panela y aguardiente (PAA): 70%

% de bagazo extraído de la molienda de caña (BE): 42%

Días del año (d): 365 días

Cantidad de bagazo tentativo de producción diaria (CBPD): ?

Cálculo de la cantidad de bagazo tentativo de producción diaria.

$$CBPD = \frac{PC * CCU * PPA * BE}{d} \quad \text{Ecuación. 1.}$$

Solución:

$$CBPD = \frac{4500\text{ha} * 0.90 * 55 * 0.70 * 0.42}{365 \text{ d}} = 179,42\text{T /d.}$$

Por lo tanto, se cuenta con una disponibilidad de 179,42 T/d de bagazo de caña de azúcar en la provincia de Pastaza, siendo una cantidad representativa para la aplicación de la diversificación de la producción de la panela.

4.2.1.2. PRECIOS DE PRODUCTOS Y COPRODUCTOS GENERADOS.

En la Tabla 4, indica la lista de precios de productos y coproductos generados por la diversificación. Son datos necesarios para ingresar al programa para calcular la rentabilidad.

Tabla 4. Precios de venta de productos y coproductos.

Precios de venta de los Productos y Coproductos obtenidos				
Producto	Precio (\$)	Cantidad	Unidad	Autor
Ácido cítrico	2-0.70-0.80	1	Kg	(Soccol et al., 2006)
Furfural	1-10	1 a 10	Kg	(Alibaba., 2017)
Etanol	14	1	Gal	(Mercado libre, 2017)
Yeso	86.10	40	Kg	(The Home Depot, 2017)

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.1.3. PARÁMETROS DE SIMULACIÓN: TECNOLOGÍA, CONDICIONES Y CINÉTICA DE PRETRATAMIENTO DEL MATERIAL LIGNOCELULÓSICO.

Los parámetros de simulación están directamente relacionados con las condiciones de pretratamiento establecidas anteriormente que dependerá la calidad y rendimiento de productos a obtener, tales como humedad de bagazo, tipo de pretratamiento, rendimiento, proceso de fermentación, tipo de productos y análisis económico que servirán para controlar cada una de las estrategias de simulaciones. Los parámetros de la simulación se determinaron previo a un análisis de varios estudios y alternativas de diversificación planteados en diversos países; así se logró acondicionar y controlar los parámetros ya mencionados.

La tecnología propuesta posee diversas condiciones específicas en porcentaje en función a la materia prima y sustrato (Albernas Carvajal et al., 2017).

Se simuló mediante el modelo de la tecnología del pretratamiento que abarca la hidrólisis ácida, hidrólisis alcalina e hidrólisis enzimática con las condiciones de Anexos 6, aplicando diferentes condiciones de pretratamiento del material lignocelulósicos que producen rendimiento eficientes de glucosa, furfural xilosa, entre otros, de acuerdo a la Figura 15 (Albernas Carvajal et al., 2017).

Previo al análisis de los datos de entrada de discernió que la tecnología planteada se obtienen mejores resultados al aplicar las condiciones del pretratamiento como hidrólisis ácida, hidrólisis básica e hidrólisis enzimática en lo que confiere la conversión de celulosa a glucosa, furfural. La cantidad a obtener de cada producto es directamente proporcional a la cantidad de materia prima, sustratos y reactivos suministrados (Albernas Carvajal et al., 2017).

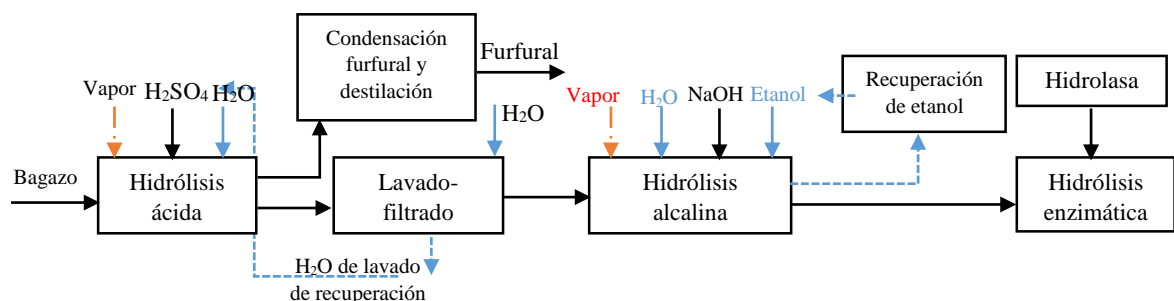


Figura 15. Tecnología de pretratamiento del material lignocelulósico

Fuente: Modificado (Albernas Carvajal et al., 2017)

Las condiciones empleadas en la simulación de las hidrólisis ácida, básica y enzimática para la conversión de celulosa en glucosa. En la hidrólisis ácida actúa sobre la lignina y hemicelulosa permitiendo la obtención de furfural y xilosa, la hidrólisis alcalina rompe completamente la lignina usando el hidróxido de sodio combinado con el EtOH denominada también hidrólisis organosolv y la hidrólisis enzimática actúa sobre la celulosa las hidrolasas convirtiendo glucosa para obtener ácido cítrico (Ver Anexos 6).

En la tecnología se emplearon condiciones de pretratamiento con hidrólisis ácida diluida en 1% p/v en fibra seca con una conversión de glucosa del 70%, hidrólisis alcalina en solución sólida en 3% p/v en fibra seca con una conversión de glucosa del 75% y la hidrólisis enzimática con enzimas hidrolasas entre 10 a 15% p/v con conversión de glucosa del 79%. Las cantidades a obtener dependerán de la cantidad de toneladas de materia prima a trabajar (Albernas Carvajal et al., 2017).

La cinética permite el diseño, desarrollo, operación y evaluación de la conversión de los azúcares presentes en el bagazo. La cinética depende de factores como el pH, temperatura,

concentración y tamaño de las partículas para el desarrollo de la conversión óptima de la hidrólisis y velocidad de reacción. Tomando en cuenta el proceso de hidrólisis su cinética fue la más acertada y eficaz en la simulación (Albernas Carvajal et al., 2014).

4.2.2. PROCESO DE SIMULACIÓN.

La metodología mencionada a través del software *SuperPro Designer*, se simuló las 8 capacidades de materias primas diferentes para diversificar la producción de la panela y determinar la capacidad óptima de producción, se realizó el análisis económico y medioambiental.

La cantidad de bagazo calculado en la provincia está en función de las hectáreas cultivadas, % destinado para tallo fresco, % destinado para panela y aguardiente y el rendimiento de caña de azúcar en tonelada por cada hectárea y el porcentaje de eficiencia de los molinos son de 179,42/d, pero se simuló desde 144 T/d., porque las producciones están propensas a fluctuaciones, en esta producción tendría una fluctuación 20%, se establecieron diversas capacidades de materia prima disminuyendo de 18 en 18 T hasta 36 T/d.

El proceso de simulación consta del análisis económico y del análisis medioambiental de la propuesta de diversificación de la caña de azúcar utilizando el bagazo.

4.2.2.1. ANÁLISIS ECONÓMICO.

El análisis económico consta diferentes indicadores dinámicos, tales como: evaluación económica, costo de materiales (materia prima) utilizada en diferentes capacidades, dimensionamiento de las especificaciones de los equipos principales, costo de inversión, costo de facilidades auxiliares, costo de operación anual y análisis de la rentabilidad.

1) Evaluación Económica.

La evaluación económica da los costos del proyectos tales como: inversión total del capital, inversión de capital cobrada a este proyecto, costo operacional, coste operativo neto, ingresos operacionales, otros ingresos, ingresos totales, costo base tasa anual, costo unitario de producción, costo neto de producción unitaria, ingresos de producción unitaria, margen bruto, retorno de la inversión, plazo o período de recuperación, tasa interna de retorno (TIR), valor actual neto (VAN) al 7% de interés por ser un estudio base, pero en estudios futuros se puede reajustar porcentaje del VAN por pertenecer el proyecto a la segmentación empresarial entre el 9.71%-10.21% anual según la tabla de interés anual del Banco Central del Ecuador, que permite determinar a partir de que cantidad de materia prima la simulación es económicamente viable. La cantidad de materia prima a trabajar está limitada en función

a la disponibilidad económica, cantidad de materia prima, capital, entre otros que dependería de las empresas.

En la Tabla 5, se muestra el resumen económico de la alternativa de diversificación de la producción de la panela a una capacidad de 36 T/d, obteniendo un VAN y margen bruto negativo, siendo no rentable. Por lo tanto realizó el proceso de simulación a través de la metodología planteada.

Se partió de la capacidad de 179,42 T/d de bagazo pero se simuló desde 144 T/d, porque las producciones están propensas a fluctuaciones, en esta producción tendría una fluctuación de 20%, por ello se establecieron diversas cantidades de materia prima disminuyendo de 18 T en 18 T hasta 36 T/d (Ver Anexos 13). Se determinó la capacidad óptima de producción de 144 T de bagazo el tiempo de retribución es de 3.09 años, con una inversión total del capital de \$29 587 000 y un VAN (7%) \$51 899 000.

Los indicadores económicos como el margen bruto, retorno de la inversión, tiempo de retribución permiten visualizar la rentabilidad de una inversión en función al beneficio, utilidades y tiempo, pero el cálculo del TIR y VAN permiten decidir qué inversión es mejor que otra en términos absolutos y así permiten determinar la aceptabilidad o rechazo para la inversión del proyecto.

Tabla 5. Resumen Ejecutivo.

RESUMEN EJECUTIVO (PRECIOS 2010)		
UNIDAD	Índices	36
\$	Inversión total de capital	21 394 000
\$	Inversión de capital cobrada a este proyecto	21 394 000
\$/año	Costo operacional	9 268 000
\$/año	Coste Operativo Neto	9 267 834
\$/año	Ingresos principales	2 285 000
\$/año	Otros Ingresos	5 643 287
\$/año	Ingresos totales	7 929 000
kg MP/año	Costo Base Tasa anual	1 523 625
\$/kg MP	Costo unitario de producción	6.08
\$/kg MP	Costo neto de producción unitaria	6.08
\$/kg MP	Ingresos de producción unitaria	5.20
%	Margen bruto	- 16.89
%	Retorno de la inversión	2.63
Años	Periodo de recuperación	38.02
%	TIR (Tasa Interna de Retorno)	N/A
\$	VAN (al 7.0% de interés)	-17 223 000

Fuente: Elaboración Propia.

El resumen ejecutivo detalla los indicadores dinámicos económicos que facilitan la toma de decisión en función a la capacidad de materia a producir que generó un total de días de producción de 8 760 horas anual de producción. A través del cálculo de la línea de regresión, determinó en que capacidad a una tasa de interés el VAN es igual a “0” de 64,96 T, pero a partir de 63 T de bagazo es el VAN positivo con un capital de inversión de \$23 980 000, el período de retribución de 7.36 años, es decir, que a esa capacidad no se producen pérdidas ni ganancias y que a partir de 63T/d de bagazo se VAN es mayor a “0”, es decir, que el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión a la tasa de descuento elegida generará beneficios. La capacidad de producción va a depender del capital de inversión (Ver Anexos 13).

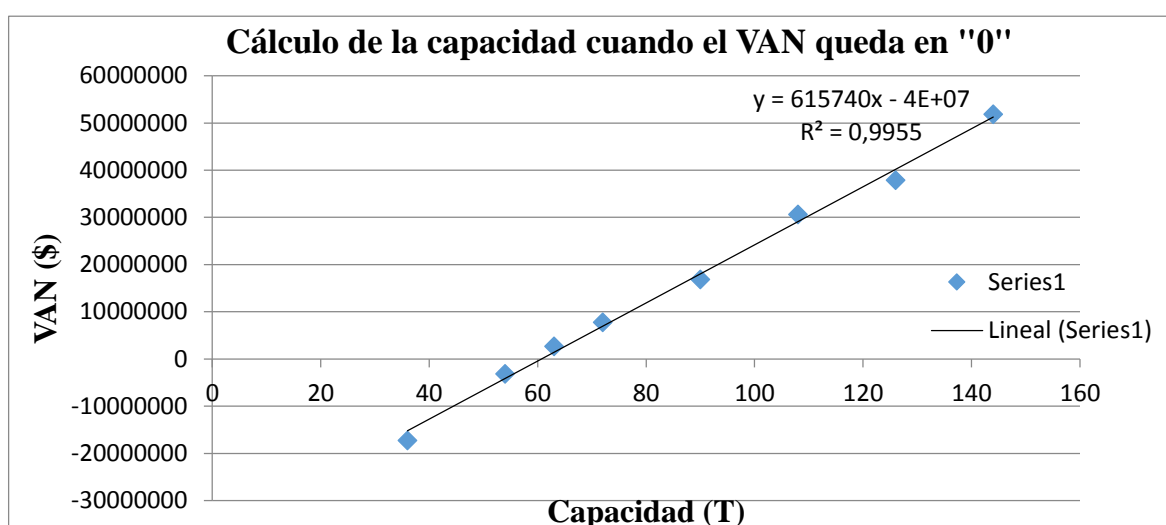


Figura 16. Cálculo de la capacidad cuando el VAN queda en “0” al 7% de interés.

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el cálculo de la línea de regresión se expresó en la línea de tendencia.

2) Costo de materiales (materia prima) utilizada en diferentes capacidades.

Los costos de los materiales a utilizarse durante el proceso de diversificación de la producción de la panela también varían en su cantidad, conforme varia la capacidad. Se enlista todos los materiales con su especificación en unidades. El software arrojó los precios de dichos materiales, cabe recalcar que el nitrógeno, oxígeno, etanol (30%p/p) dan un valor de cero “0” porque no tienen un costo alguno. Son diversas materias primas usadas en la simulación, las que tienen mayor costo de adquisición son hidrolasa en la hidrólisis enzimática de vital importancia, y los nutrientes empleados en las hidrólisis y fermentación. Independientemente del costo todas las materias son indispensables para la estrategia de simulación (Ver Anexos 9).

3) Dimensionamiento de las especificaciones de los equipos principales y costos.

Están en función a la capacidad de bagazo en anexos 7, enlista todos los equipos utilizados en la simulación y sus costos en función a su tamaño y capacidad, los costos fueron arrojados y calculados por el software con precio del año 2010.

La especificación de los equipos, accesorios y costos son arrojados y calculados por el software que varían su precio, el mismo es directamente proporcional a tamaño y capacidad en función de la materia prima. Se cuenta con 39 equipos y accesorios que generan un total de inversión de equipos. Algunos equipos de la lista cuentan con un valor de “0” porque son elementos auxiliares convirtiéndose en un código que pueden tener un costo pero como es un sistema no se analiza el costo de la tubería. A 63T es de \$4 286 000 y a 144 T es de \$5 381 000. Los tamaños y dimensiones de equipos aumentan progresivamente, así se obtendrán más productos terminados y los costos disminuyen los costos de operaciones unitarias.

4) Costo de Inversión.

El resumen estimado del capital fijo en función a los precios del año del 2010 del proyecto se encuentra detallado todos los costos elementales de inversión en Anexos 8. El costo de inversión del proyecto se basa en el resumen estimado del capital fijo, calculado automáticamente por el software de acuerdo a los precios del 2010 que incluye costo directo total de planta (TPDC) (costo físico), costo indirecto total de la planta (TPIC), costo total de la planta (TPC), tarifa y contingencia del contratista (CFC), costo directo de capital fijo (DFC).

Se calculó un costo de inversión por cada una de las ocho simulaciones realizadas, dentro del intervalo de 36 T-144 T. El costo de inversión es directamente proporcional a su incremento de capacidad de materia prima a trabajar. A una capacidad de 36 T el costo es de \$20 020 000, a 63 T es de \$21 729 000 y a 144 T es de \$27 261 000.

5) Costo de Facilidades Auxiliares.

El informe de los costos de las facilidades auxiliares empleadas en cada una de las secciones, son elementales para el desarrollo del proceso y obtención de productos. A 36 T de \$158 629, a 63 T de \$277 601 y a 144 T un costo de \$634 517. El simulador detalla y calcula los costos de las facilidades auxiliares que incluyen los costos indirectos de producción en función a los datos ingresados y a la cantidad de bagazo. El costo más elevado es a 144 T porque el requerimiento es más elevado y al disminuir la cantidad de bagazo disminuye el costo de utilidades. El agua fría genera

el mayor costo de las facilidades auxiliares, independientemente de la cantidad de bagazo a diferencia de los demás costos. Representando el vapor con un costo de “0”, porque se generará en la misma simulación (Ver Anexos 11).

6) Costo de Operación Anual.

El costo de operación anual total en función a la cantidad de bagazo empleado para la diversificación de la producción de la panela utilizando el bagazo de la caña de azúcar (coproducto), el mismo especifica las operaciones a realizarse dentro de un proceso. El mayor coste de operación refleja utilizando 144 T con el mayor costo de operación que refleja a nivel general es la materia prima de \$10 153 000. El incremento del costo operacional anual aumenta conforme incrementa la cantidad de bagazo de caña de azúcar. El costo operacional anual es cuando se utilizan 144 T de \$ 20 974 000, a 36 T de \$ 9 268 000 y a 63 T un costo operacional anual de \$12 174 000 (Ver Anexos 12).

7) Análisis de la Rentabilidad.

En el presente capítulo se realizaron tablas que informan todos los costos que requieren la implementación del proyecto de investigación. Como todo proyecto se debe analizar la rentabilidad para verificar si es económicamente viable. (Ver Anexos 13). En el análisis de la rentabilidad incluyen la inversión total, ingresos de los productos y residuos que son vendidos para generar ingresos, tales como yeso a 0.63\$/kg, ácido cítrico a 1.49\$/kg, etanol a 0.53\$/kg, furfural a 1.95\$/kg y cogeneración como energía eléctrica 0.05\$/Kw-h.

El residuo que genera más ingresos son las ventas de furfural, ácido cítrico y yeso, por lo tanto es conveniente elaborar y vender los productos. Igualmente la rentabilidad incrementa conforme aumenta la capacidad de bagazo de caña. A una capacidad de 36 T da una rentabilidad de \$ 13 875 547, a 63 T de \$19 822 557 y a 144 T de \$31 716 740. Por lo tanto el análisis de rentabilidad se realizó mediante los indicadores dinámicos económicos del resumen ejecutivo de la evaluación económica tales como, costo base tasa anual, costo unitario de producción, costo neto de producción unitaria, margen bruto, retorno de la inversión, tiempo de retribución, tasa interna de retorno, y el valor actual neto al 7% que es indicador que más influyen en la rentabilidad, que a partir de la capacidad de 63T es rentable la alternativa de diversificación.

4.2.2.2. ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL.

Es necesario destacar que en toda industria existen residuos por su estado tales, como sólidos, líquidos y gaseosos, entre otros como residuos por su origen (residuos industriales) en dependencia al producto a obtener, por lo tanto, esta alternativa no está libre de ello, pero

se da un cierto costo para el tratamiento o eliminación de residuos. Como se conoce que el estado exige industrias más limpias. Por las características de la industria es imposible no tener ningún residuo en la propuesta de diversificación se tienen residuos sólidos, gaseosos y líquidos que deben ser tratados. Conforme incrementa la capacidad de producción se incrementa el costo de tratamiento de estos residuos, representando \$2 941 364 el costo de tratamiento de residuos a 144 T, a 63 T de \$1 286 847, 36 T de \$735 341.

El residuo acuoso representa mayores costos de tratamientos a diferencia de los demás. Es por ello necesario aplicar cualquiera de las estrategias para la minimización de residuos. El primer análisis que se realizó fue la composición de las corrientes de residuos para su posible utilización como materias primas para elaborar otros productos como la lignina, glucosa, bagazo de caña de azúcar. (Ver Anexos 10). En la propuesta de diversificación se generan corrientes de residuos como residuos líquidos, sólidos y gaseosos (Ver tabla 6).

Tabla 6. Residuos líquidos de la propuesta.

RESIDUOS LÍQUIDOS		
RESIDUO	ETAPA	USO/PROPUESTA
Residual de lavado de bagazo	Lavado (acondicionamiento)	Fertiriego
Residuo de lignina	Filtro de bandas 1, pretratamiento	Cogeneración
Residuo de hidrolasas	Filtro de bandas 3, Pretratamiento	Recirculación
Residuo de etanol	(Filtro de bandas 2 Pre)	recirculación
Agua recuperada	Cristalización de la producción de ácido cítrico	recirculación del proceso de lavado
Vinazas	Destilación 1 EtOH	Biogás

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6, se enlistan las corrientes de residuos líquidos generados en la propuesta de la alternativa tales como, residual de lavado del bagazo, residuo de lignina, hidrolasas, etanol, agua recuperada y vinazas que generan cada una de las tecnologías aplicadas se propone una remediación. La cantidad de los residuos generados en las corrientes va a depender de la capacidad a simular.

En la tabla 7 indica las corrientes de residuos sólidos tales como, cenizas, biomasa que incluyen los nutrientes en menor cantidad. De la ceniza y biomasa se propone como biorremediación como abono y alimento animal respectivamente.

Tabla 7. Residuos sólidos producidos en la propuesta.

RESIDUOS SÓLIDOS		
RESIDUO	ETAPA	USO/PROPUESTA
Corriente de cenizas	Caldera Cogeneración	Abono
Corriente de biomasa	Filtrado 1 producción de ácido cítrico	alimento animal

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8, muestran las corrientes de residuos gaseosos tales como, aire con agua y CO₂. La corriente de aire no es considerada como un residuo porque será emanada al aire por no contener componentes contaminantes y el dióxido de carbono equilibra la cantidad generada en los procesos y el proceso de fotosíntesis en los cañaverales.

Tabla 8. Residuos gaseosos producidos en la propuesta.

RESIDUOS GASEOSOS		
RESIDUO	ETAPA	USO/PROPUESTA
Corriente de CO ₂	Fermentación acondicionamiento, fermentación y Fermentación en etanol	Equilibra la cantidad que se genera Pre en el proceso y el proceso de fotosíntesis en lo cañaverales.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 9, indica los residuos como subproductos por su valor y composición.

Tabla 9. Residuos como Subproductos.

RESIDUOS COMO SUBPRODUCTOS		
RESIDUO	ETAPA	USO/PROPUESTA
Furfural	Producto de pretratamiento	Venta
Residuo de yeso	Filtrado 3 y 4 producción de ácido cítrico	Venta

Fuente: Elaboración propia.

Las partículas (residuos de bagazo) generadas en la etapa de acondicionamiento serán utilizadas en la etapa de cogeneración, los residuos de yeso generados en la etapa de la producción de ácido cítrico serán destino para venta. Estas corrientes al ser utilizadas en la propuesta de diversificación ya no se consideran como residuales sino como subproductos.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES.

- 1) Se determinó que en la provincia existen 110 paneleras y una disponibilidad de materia prima de 179,42T de bagazo/d. Los productos que se elaboran son panela, etanol y miel, a partir de la caña de azúcar. Se propuso una alternativa *in silico* de diversificación en función de la disponibilidad de la materia prima, los productos (ácido cítrico, etanol, cogeneración, furfural y yeso) y las tecnologías seleccionadas.
- 2) La diversificación relacionada y la integración vertical fueron las estrategias de diversificación seleccionada en función de la caracterización de la producción de panela en Pastaza.
- 3) Se determinó que la capacidad óptima de la estrategia de diversificación propuesta es de 144 T/d. Los indicadores dinámicos económicos demuestran la factibilidad de la inversión, con un periodo de recuperación de 3.09 años y un VAN de \$51 899 000, generando corrientes de residuos líquidos (agua de lavado de bagazo, lignina, hidrolasas, etanol, agua recuperada y vinazas), sólidos (cenizas, biomasa) y gaseosos (CO₂).
- 4) Se determinó que la capacidad de 64,96 T/d., el VAN fue igual a “0”, a partir de la cual las diferentes alternativas generan ganancias a una tasa de interés del 7% utilizando el *SuperPro Designer*.

5.2. RECOMENDACIONES.

- 1) Que los resultados obtenidos se apliquen en algún tipo escala tales como nivel laboratorio, piloto e industrial para su demostración experimental, así obtener datos más precisos y lograr la aplicación real de la diversificación.
- 2) Que se aplique la metodología de trabajo para otros subproductos obtenidos en la producción de la panela y de otras materias primas que se producen en la provincia.
- 3) Que se realice un estudio de los productos que se pueden obtener de las corrientes de nutrientes y biomasa para disminuir el impacto ambiental e incrementar las ganancias.
- 4) Que se analice la influencia de la tasa de interés del Banco Central del Ecuador en los indicadores dinámicos económicos y la capacidad del proceso tecnológico.

CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA.

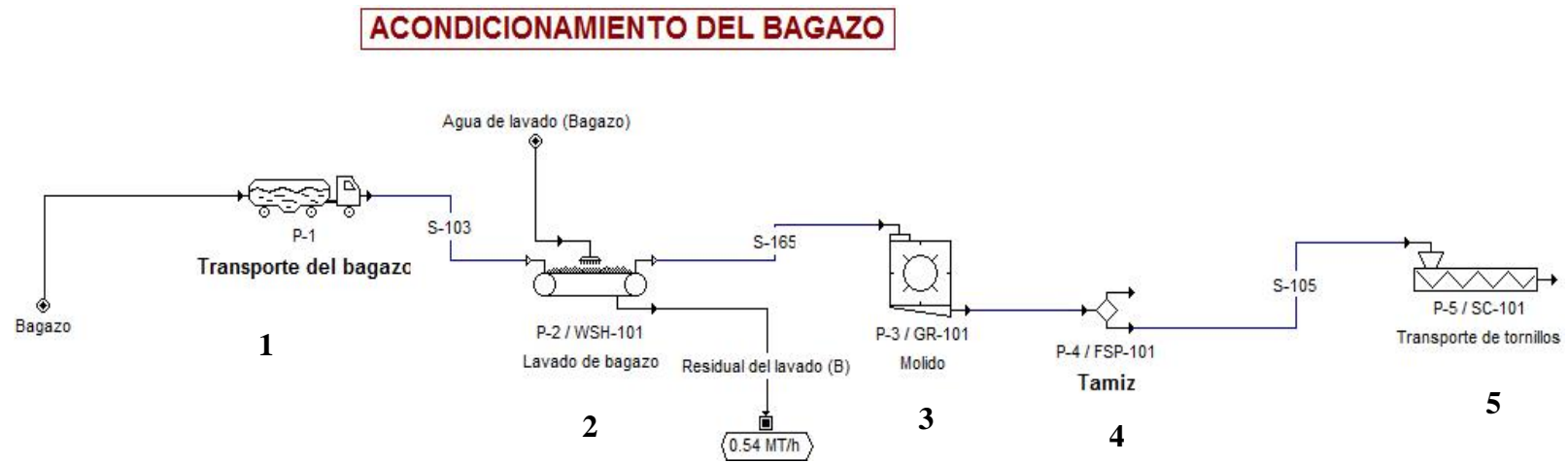
- Aguilar Rivera, N. (2007). Bioetanol de la caña de azúcar. *AIA (Avances en Investigación Agropecuaria)*, 11, 25-39.
- Aguilar Rivera, N. (2010). Modelo cinético de la hidrólisis del residuo de cosecha cañero. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 20-2, 5-18.
- Aguilar Rivera, N. (2011). Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XII, 189-197.
- Aguilar Rivera, N. (2014a). Biorrefinería de la caña de azúcar en México en el siglo XXI. *Ulúa*, 23, 181-204.
- Aguilar Rivera, N. (2014b). Índice de diversificación de la agroindustria azucarera en México. *ASyD (Agricultura, Sociedad y Desarrollo)*, 11, 441-462.
- Aguilar Rivera, N. (2014c). Reconversión de la cadena agroindustrial de la caña de azúcar en Veracruz México. *Revista Electrónica Nova Scientia*, 6(2), 125-161.
- Aguilar Rivera, N. (2017). Estrategias metodológicas para el análisis de la reconversión y diversificación productiva de regiones cañeras. *Cuadernos Geográficos*, 56, 172-192.
- Aguilar Rivera, N., Galindo, G. M., Fortanelli, J. M., & Contreras, C. S. (2009). ¿Por qué diversificar la agroindustria azucarera en México? *Globalization, Competitiveness & Governability*, 3, 62-75. doi: 10.3232/GSG.2009.V3.N1.03
- Albernas Carvajal, Y., Corsano, G., González Cortés, M., & González Suárez, E. (2017, 29-8-2017). *Preliminary design for simultaneous saccharification and fermentation stages for ethanol production from sugar cane bagasse*. Manuscript. Chemical Engineering Research and Design.
- Albernas Carvajal, Y., Corsano, G., Mesa Garriga, L., Santos Herrero, R., & González Suárez, E. (2014). Estudio de la cinética de la hidrólisis enzimática del bagazo pretratado. *AFINIDAD LXXII*.
- Alibaba. (2017). Precio del Furfural. Retrieved 10-septiembre, 2017, from <https://spanish.alibaba.com/product-detail/furfural-cas-98-01-1-1827194985.html?spm=a2700.8699010.29.2.45908715ixtNh&s=p>
- Amenaghawon, N. A., Amenaghawon, N. A., Areguamen, S. O., Agbroko, N. T., Ogbeide, S. E., & Okieimen, C. O. (2013). Modelling and Statistical Optimisation of Citric Acid Production from Solid State Fermentation of Sugar Cane Bagasse Using *Aspergillus Niger* *International Journal of Sciences*, 2(Mar 2013), 56-62.
- Ancajima Condore, J. L., Antón Saldarriaga, E. F., Saldarriaga Albújar, M. B., & Urbina Carnero, H. A. (2012). *Plan etratégico de la industria de la panela en el departamento de Piura*. (Administrativa), Pontificia Universidad Católica del Perú. Escuela de Graduados., Perú. Retrieved from http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4591/ANCAJIMA_ANTO_N_SALDARRIAGA_URBINA_PANELA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ASOCAP. (2017). Agroindustria panelera en la Provincia de Pastaza-Ecuador. (pp. 15).
- Basanta, R., García Delgado, M. A., Crervantes Martínez, J. E., Mata Vázquez, H., & Bustos Vázquez, G. (2007). Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la Agroindustria Azucarera: Una Revisión. *SOMENTA*, 5, 293-305. doi: DOI:10.1080/11358120709487704
- Campués Tulcán, J. K., & Tarupí Rosero, J. C. (2011). *Obtención de alcohol a partir de jugo de caña, cachaza y melaza, mediante la incorporación de dos niveles de fermento (Saccharomyces cerevisiae)*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.
- Cardona, E. M., Rios, J. A., Peña, J. D., & Rios, L. A. (2013). Pretratamiento alcalino de pasto elefante (*Pennisetum* sp) y King Grass (*Pennisetum hybridum*) cultivados en Colombia para la producción de bioetanol. *Información tecnológica*, 24, 69-80. doi: 10.4067/S0718-07642013000500009
- Castañón Rodríguez, J. F., Welti Chanes, A. J., Palacios, B., Torrestia Sánchez, J. A., Ramírez de León, G., Velásquez, & Aguilar Uscanga, M. G. (2015). Influence of high pressure

- processing and alkaline treatment on sugarcane bagasse hydrolysis. *CyTA - Journal of Food*, 13, 613-620. doi: 10.1080/19476337.2015.1029523
- Eggleston, G., & Lima, I. (2015). Sustainability Issues and Opportunities in the Sugar and Sugar-Bioprocess Industries. *sustainability*, 7, 12209-12235. doi: 10.3390/su70912209
- Elizalde Largo, M. F. (2015). *Mejoramiento de la rentabilidad con diversificación de sub-productos de la caña de azúcar, en Chaguarpamba-Loja.*, Universidad Técnica de Machala.
- GADPP. (2016). *Plan productivo provincial de Pastaza.* Pastaza.
- Garrido, N., Navarro, H., Díaz de los Ríos, M., & Pérez, I. (2010). Evaluación de alternativas de producción de levadura forrajera a partir de vinazas mediante simulación con SuperPro Designer. *ICIDCA (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar)*, 44, 34-40.
- Gordillo, F., Peralta, E., Chávez, E., Contreras, V., Campuzano, A., & Ruiz, O. (2011). Producción y evaluación del proceso de compostaje a partir de desechos agroindustriales de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar). *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 37, 140-149.
- Jaramillo Ponce, J. P. (2015). *Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en la fabricación de prototipos de tableros aglomerados en la Provincia de Pastaza.* (Investigativa), Universidad Estatal Amazónica.
- Julián Ricardo, M. C., Baltá García, J. G., Pérez Sánchez, E. J., & Pérez Sánchez, A. (2017). Simulación del proceso de producción de cerveza a escala piloto. *AFINIDAD XXII*, 12.
- Kumar, A., Gautam, A., & Dutt, D. (2016). La transformación biotecnológica de biomasa lignocelulósica para los productos industriales: una visión general. *Los avances en Biocinética y biotecnología*, 7, 149-168.
- López Ríos, C. A., Zuluaga Meneses, A., Herrera Penagos, S. N., Ruiz Colorado, A. A., & Medina de Pérez, V. I. (2005). Producción de ácido cítrico con *Apergillus niger* rrl 2270 a partir de suero de leche. *Dyna*, 39-57.
- Martín, P. C. (2009). El uso de residuales agroindustriales en la alimentación animal en Cuba: pasado, presente y futuro. *AIA (Avances en Investigación Agropecuaria)*, 13, 3-10.
- Martínez Sifuentes, V. H., Alonso Dávila, P. A., López Toledo, J., Salado Carbajar, M., & Rocha Uribe, J. A. (2003). *Simulación en Procesos en Ingeniería Química.*
- Medina Estevez, M., Hernández Corvo, Y., & León Martínez, T. S. (2012). Evaluación de la etapa de prehidrólisis del bagazo de caña para la obtención de etanol en la planta piloto. *ICIDCA*, 46, 30-37.
- Mercado libre. (2017). Precio del alcohol Industrial. Retrieved 15-septiembre, 2017, from https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-412708833-alcohol-industrial-ozz-galon-_JM
- Mesa Garriga, L. (2010). *Estrategia investigativa para la tecnología de obtención de etanol y coproductos del bagazo de la caña de azúcar.*, UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS, Cuba, Santa Clara.
- Millána, H., Kalauzi, A., Llerena, G., Sucoshañay, J., & Piedra, D. (2009). Meteorological complexity in the Amazonian area of Ecuador: An approach based on dynamical system theory. *ELSEVIER*, 6(3), 268-285.
- Muñoz Villa, A., Sáenz Galindo, A., López López, L., Cantú Sifuentes, L., & Barajas Bermúdez, L. (2014a). Ácido Cítrico: Compuesto Interesante. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 6, 7.
- Muñoz Villa, A., Sáenz Galindo, A., López López, L., Cantú Sifuentes, L., & Barajas Bermúdez, L. (2014b). Citric Acid: Interesting Compound. *Científica*, 6(12), 7.
- Nicolalde Herrera, L. D. (2014). *Análisis económico de la cadena productiva de la caña de azúcar, bajo un enfoque estructuralista y matriz de análisis de política, periodo 2006-2012.*, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito-Ecuador.
- Olmedo Junco, M., Cuzco Piña, G., & Murrieta, M. E. (2006). *Proyecto de análisis de mercado y desarrollo de estrategias de marketing para la comercialización de melcocha en la ciudad de Puyo-Provincia de Pastaza.*
- Pattana Laopaiboon, A. B., Arthit Thani, U., Vichean Leelavatcharamas, D., & Lakkana Laopaiboon, A. B. (2009). La hidrólisis del bagazo de caña de azúcar para la producción de ácido láctico. *Tecnología Bioambiental*, 8.

- Paturau, M. (2009). *El uso del bagazo como materia prima industrial para la obtención de derivados*. (Posgrado en Ingeniería Química), UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
- Paucar Verdejo, J. R., & Robalino Jácome, J. A. (2009). *Modelo estratégico para la industrialización de la caña de azúcar en el Ecuador*. (científica e investigativa), Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.
- Pérez Navarro, O., Ley Chong, N., Rodríguez Maroquí, K. R., & Suárez Gonzáles, E. (2016). Oportunidades de producción de ácido cítrico por vía fermentativa a partir de sustratos azucareros en Cuba. *cENTRO aZÚCAR*, 43, 85-99.
- Porter, M. (2017). *La cadena de valor de Michael Porter: Identifique y optimice su ventaja competitiva*.
- Proaño Jiménez, D. R., & Gallegos Mosquera, J. R. (2013). *Principales beneficios de la diversificación vertical enfocado en PYMES del centro-norte del Ecuador.*, Universidad San Francisco de Quito, Quito.
- Quezada Moreno, W. F., Quezada Torres, W. D., González Suárez, E., Torres Tambo, M. J., Molina Borja, F. A., Moreano Terán, N. F., & Pérez Martínez, A. (2017). Análisis del Ciclo de Vida de la panela agroindustria: Intensificación para su desarrollo. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*, 2, 2660-2666. doi: <http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.5.48>
- Sablón Cossío, N., Pérez Quintana, M. L., Chacón Guerra, E., & Villalba Pozo, V. (2016). La Integración en la Cadena Agroalimentaria de Panela en el Puyo-Ecuador. *Cultivos Tropicales, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)*, 37, 128-135. doi: 10.13140/RG.2.2.29471.56480
- Salazar Riofrío, G. B. (2012). *Elaboración de una planificación estratégica para la Asociación de Cañicultores de Pastaza "ASOCAP" de la ciudad de Puyo cantón Pastaza provincia de Pastaza. Período 2011-2013.*, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador.
- Sánchez Carreño, E. (2015). *Diseño de una cadena productiva de apicultura orgánica, como estrategia agroindustrial con integración vertical en el municipio de la Uvita, Departamento de Boyacá.*, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- Saura, G., & Otero, M. A. (2008). Posibilidades y alternativas de la diversificación del sector azucarero. *ICIDCA. Instituto Cubano de Investigaciones de los derivados de la Caña de Azúcar*, XLII, 78-89.
- Soccol, C. L., Vandenberghe, L. P., Rodrigues, C., & Pandey, A. (2006). New Perspectives for Citric Acid Production and Application. *Food Technol. Biotechnol.*, 22, 141-149.
- The Home Depot. (2017). Precio de yeso. Retrieved 17-septiembre, 2017, from <http://www.homedepot.com.mx/comprar/es/xalapa/yeso-maximo-40-kg>
- TRADEMAP. (2017). 291814-Ácido Cítrico. Retrieved 17-septiembre, 2017, from <http://www.trademap.org/Index.aspx?lang=es>
- Trávez Peñafiel, D. C. (2011). *Estado del arte y novedades de la bioenergía en el Ecuador*. Quito-Ecuador.
- Villena Izurieta, N. P. (2015). El Ecuador y el proceso de cambio de la matriz productiva: consideraciones para el desarrollo y equilibrio de la balanza. *Eumednet. Observatorio de la Economía Ecuatoriana*, 10.
- Zumalacárregui, L. M., Pérez Ones, O., Rodríguez Ramos, P. A., Zumalacárregui, B. M., & Lombardi, G. (2015). Potencialidades del bagazo para la obtención de etanol frente a la generación de electricidad. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XVI, 407-418.

CAPÍTULO VII ANEXOS.

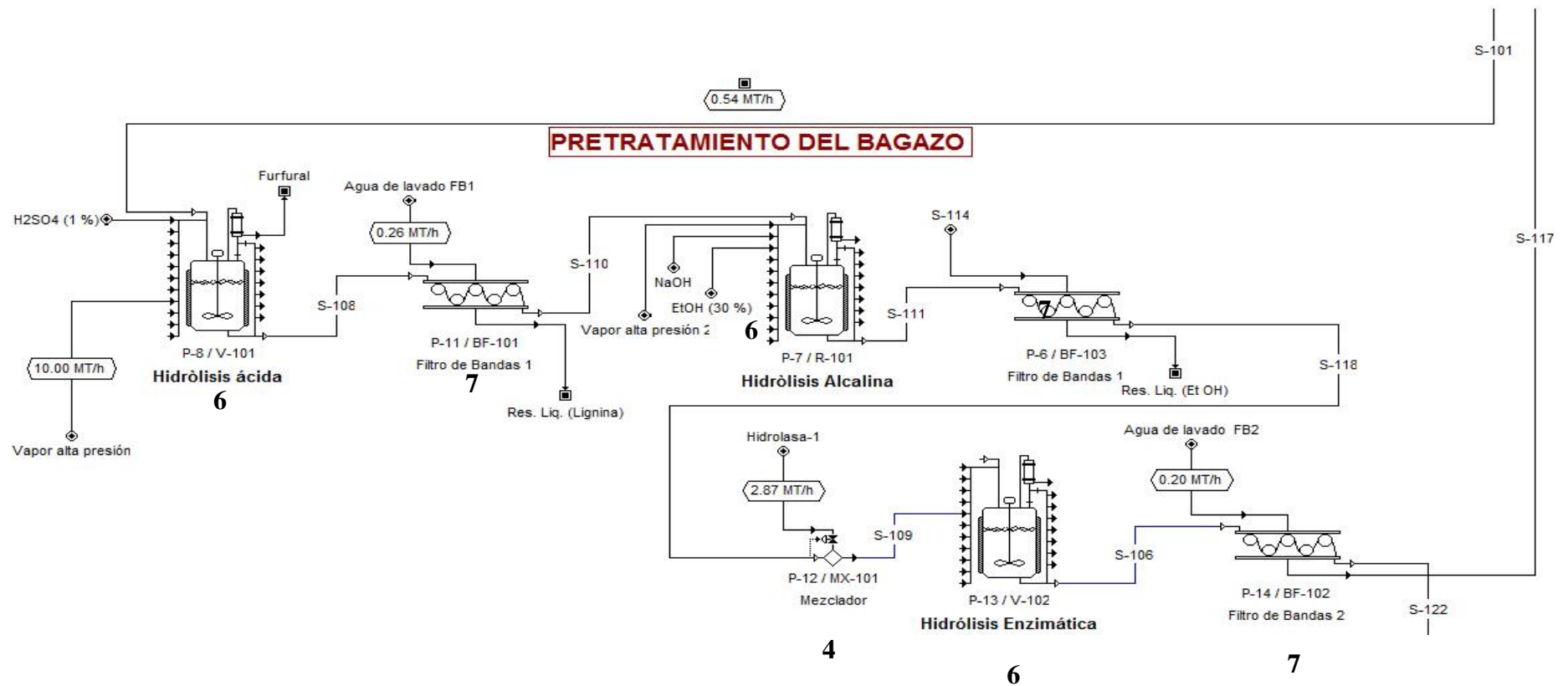
Anexos 1. Acondicionamiento del bagazo



1. Transporte de bagazo
2. Lavadora (Flujo masivo)
3. Trituradora
4. Mezclador
5. Transporte de tornillos

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

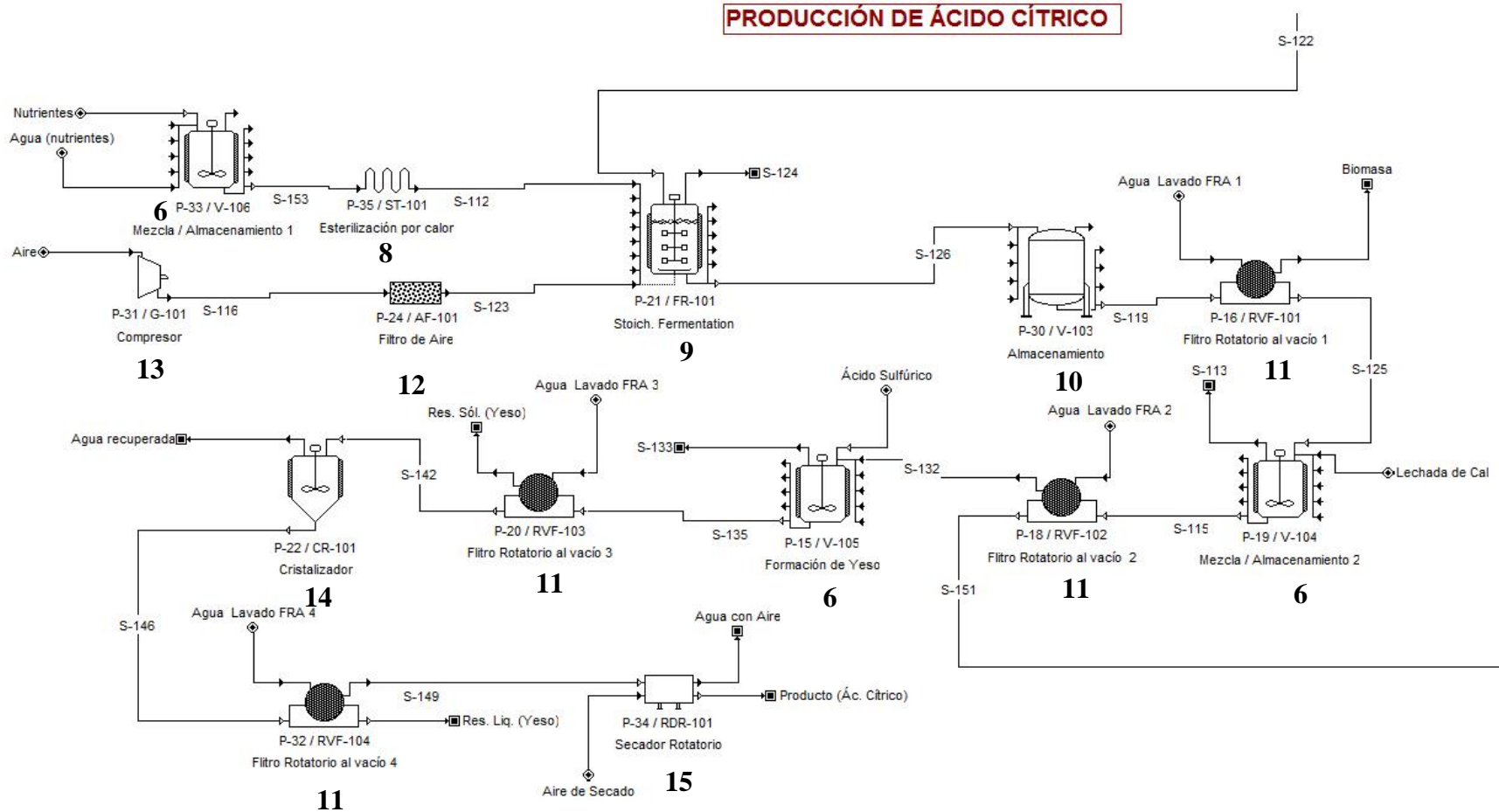
Anexos 2. Pretratamiento del Bagazo.



- 4. Mezclador
- 6. Reactor
- 7. Filtro de bandas

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

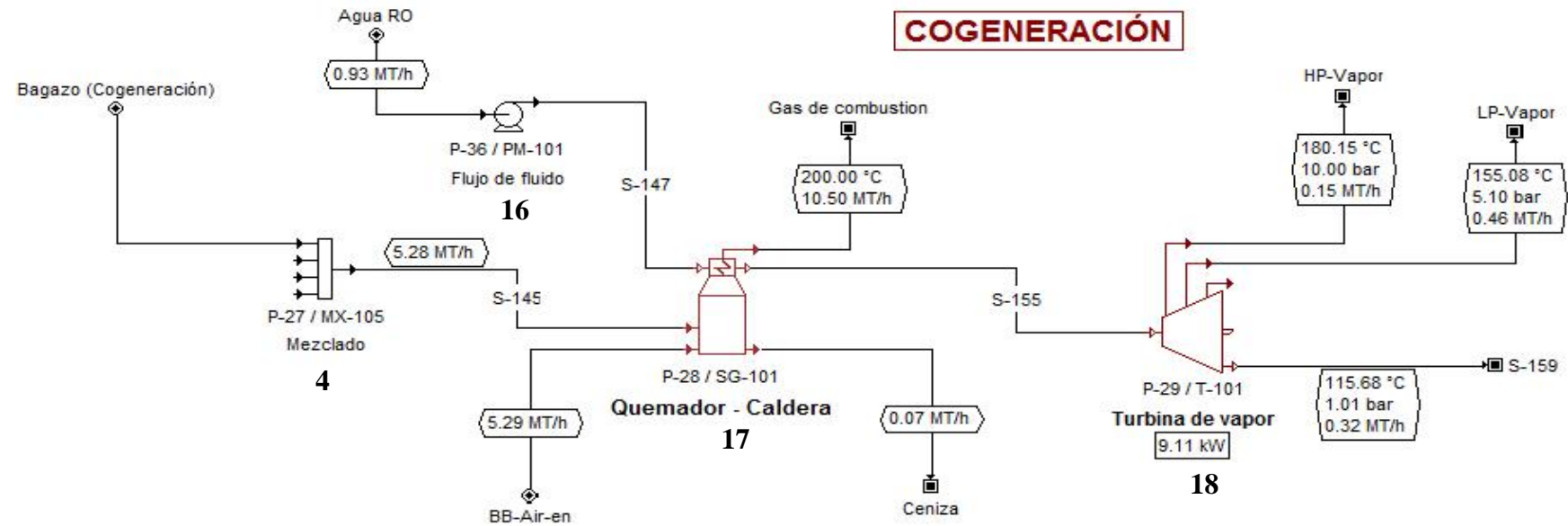
Anexos 3. Producción de Ácido cítrico.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

6. Reactor. 8. Esterilizador por calor. 9. Fermentador. 10. Tanque de almacenamiento. 11. Filtro Rotatorio al vacío. 12. Filtro de Aire. 13. Compresor. 14. Cristalizador. 15. Secador rotatorio.

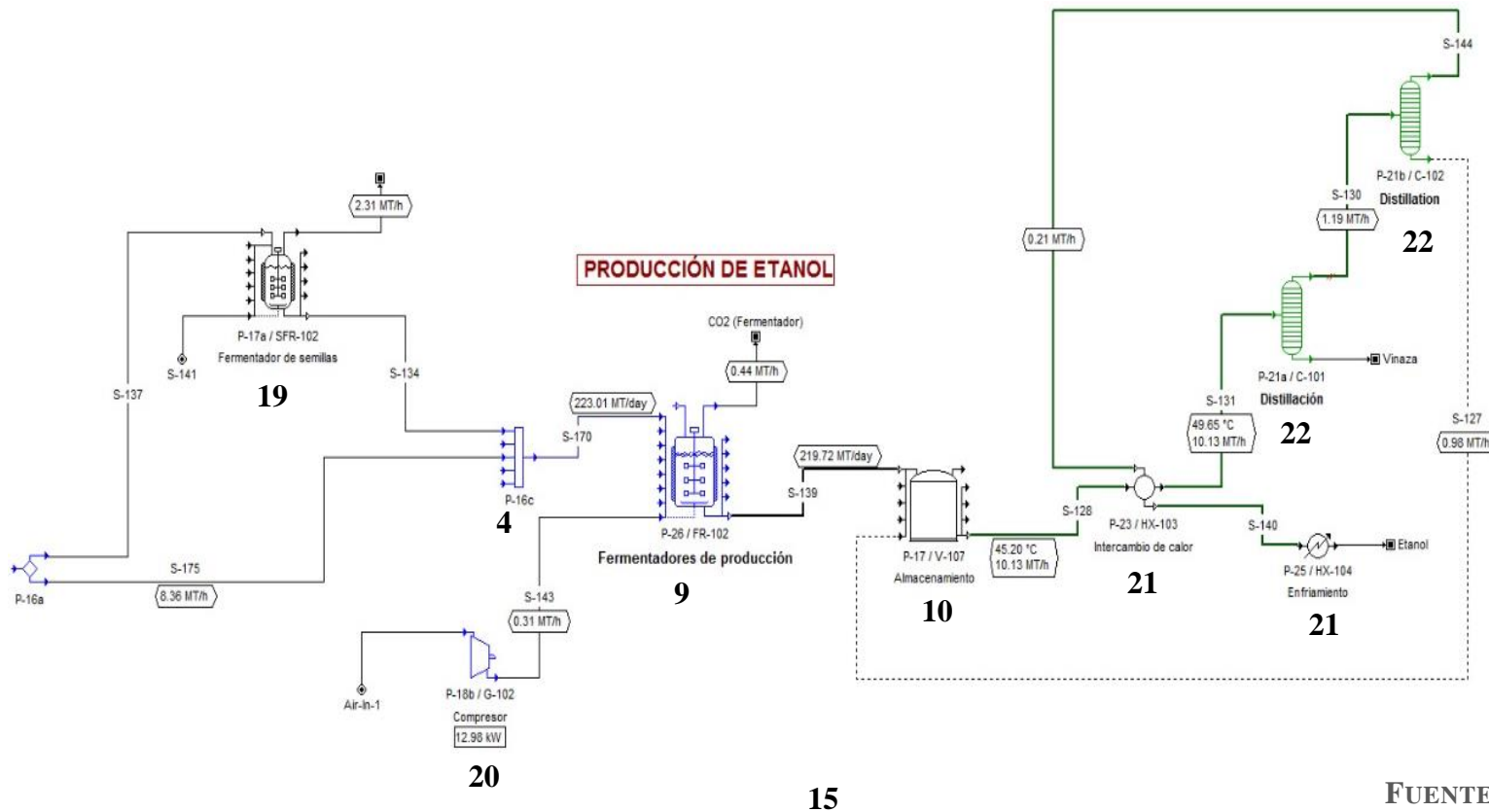
Anexos 4. Cogeneración.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

4. Mezclador. 16. Divisor de Flujos. 17. Caldera. 18. Turbina de vapor.

Anexos 5. Producción de Etanol.



4. Fermentador. 9. Fermentador. 10. Tanque de Almacenamiento. 19. Pre fermentador. 20. Compresor. 21. Intercambiador de calor. 22. Columna de destilación.

Anexos 6. Condiciones de Pretratamiento del material lignocelulósica.

Pretratamiento	Condiciones de pretratamiento											Autor
	estado	etanol	agua	Porcentaje (%)	T°	Presión	rpm	pH	T	Relación	Productos	
hidrólisis ácida	diluido			1% (p/v) en fibra seca	175°C	9 atm			40 min	1:1 (p/v)sólido-líquido	glucosa (70%), furfural	(Albemas Carvajal, Y., <i>et al.</i> , 2017)
hidrólisis alcalina	solución sólida	30% v/v	70%	3% (p/v) en fibra seca	185°C				60 min	Líqu.- liq. 1:7kg/l	Glucosa (75%)	(Albemas Carvajal, Y., <i>et al.</i> , 2017)
hidrólisis enzimática	hidrolasas			10-15% (p/v)	35°C		150	5	24 h	0,05M	Glucosa (79%)	(Albemas Carvajal, Y., <i>et al.</i> , 2017)

FUENTE: (ALBERNAS CARVAJAL ET AL., 2017)

Anexos 7. Dimensionamiento y costos del equipamiento. (Precios 2010)

ESPECIFICACIÓN DEL EQUIPO PRINCIPAL Y COSTO FOB (precios de 2010)									
Cant.	Descripción	Costo (\$) en función a la cantidad de bagazo de caña en toneladas							
		36	54	63	72	90	108	126	144
1	Amoladora	67 000	69 000	70 000	71 000	72 000	74 000	76 000	78 000
	Tamaño / Capacidad	961.98 kg / h	1442.98 kg/h	1 683.47 kg/h	1 923.97kg/h	2 404.96 kg/h	2 885.95 kg/h	3 366.94 kg/h	3 847.94 kg/h
1	Divisor de flujo	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tamaño / Capacidad	961.98 kg/ h	1 442.98 kg/h	1 683.47 kg/h	1 923.97 kg/h	2 404.96 kg/h	2 885.95 kg/h	3 366.94 kg/h	3 847.94 kg/h
1	Transportador de tornillo	1 000	2,000	3.000	3 000	4 000	5.000	6.000	6 000
	Longitud del tubo	10.00 m	10.00 m	10.00 m	10.00 m	10.00 m	10.00 m	10.00 m	10.00 m
1	Reactor Agitado	66 000	84 000	92 000	100 000	114 000	127 000	140 000	151 000
	Volumen del recipiente	2.73 m3	4.09 m3	4.77 m ³	5.45 m ³	6.82 m ³	8.18 m ³	9.54 m ³	10.91 m ³
1	Mezclador	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tamaño / Capacidad	1 089.17 kg/h	1 633.75 kg/h	1906.04 kg/h	2 178.33 kg/h	2 724.01 kg/h	3 280.76 kg/h	3 812.08 kg/h	4 356.66 kg/h
1	Reactor Agitado	18 000	23 000	25.000	27 000	31.000	35 000	38 000	41 000
	Volumen del buque	1.00 m3	1.50 m3	1.75 m ³	2.00 m ³	2.50 m ³	3.01 m ³	3.49 m ³	3.99 m ³
1	Filtro de Cinturón	220 000	222 000	223.000	224 000	225 000	227 000	228 000	229 000
	Anchura de la correa	0.13 m	0.20 m	0.23 m	0.27 m	0.33 m	0.40 m	0.47 m	0.53 m
1	Filtro de Cinturón	219 000	220 000	221.000	222 000	223 000	224 000	226 000	227 000
	Anchura de la correa	0.10 m	0.15 m	0.17 m	0.20 m	0.25 m	0.30 m	0.35 m	0.40 m
1	Arandela (flujo masivo)	50 000	64 000	71.000	76 000	87 000	98 000	107 000	116 000
	Tamaño / Capacidad	1 000.00 kg/h	1 500.00 kg/h	1 750.00 kg/h	2 000.00 kg/h	2 500.00 kg/h	3 000.00 kg/h	3 500.00 kg/h	4 000.00 kg/h

1	Filtro de aire	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6000
	Rendimiento nominal	0.01 m ³ /s	0.01 m ³ /s	0.01 m ³ /s	0.01 m ³ /s	0.01 m ³ /s	0.01 m ³ /s	0.01 m ³ /s	0.01 m ³ /s
1	Compresor centrifugo	64 000	64 000	64 000	64 000	64 000	64 000	64 000	64 000
	Potencia del compresor	4.71 kW	7.07 kW	8.25 kW	9.42 kW	11.78 kW	14.14 kW	18.85 kW	18.85 kW
1	Tanque de mezcla	209 000	221 000	226 000	230 000	227 000	236 000	252 000	252 000 1
	Volumen del recipiente	4.91 m ³	7.36 m ³	8.59 m ³	9.82 m ³	12.27 m ³	14.73 m ³	19.64 m ³	9.64 m ³
1	Esterilizador de calor	571 000	571 000	571 000	571 000	571 000	571 000	571 000	571 000
	Rendimiento nominal	25.00 m ³ /h	25.00 m ³ /h	25.00 m ³ /h	25.00 m ³ /h	25.00 m ³ /h	25.00 m ³ /h	25.00 m ³ /h	25.00 m ³ /h
1	Depósito vertical en el tanque	65 000	65 000	65 000	65 000	65 000	65 000	65 000	65 000
	Volumen del tanque	50.00 m ³	50.00 m ³	50 00 m ³	50.00 m ³	50.00 m ³	50.00 m ³	50.00 m ³	50.00 m ³
1	Filtro de vacío giratorio	31 000	54 000 4.02	57 000	60 000	66 000	71 000	79 000	80 000
	Superficie del Filtro	0.89 m ²	m ²	4.69 m ²	5.36 m ²	6.70 m ²	8.04 m ²	10.39 m ²	10.72 m ²
1	Tanque de mezcla	128 000	128 000	128 000	128 000	128 000	128 000	130 000	132 000
	Volumen del recipiente	0.05 m ³	0.07 m ³	0.08 m ³	0.09 m ³	0.12 m ³	0.14 m ³	0.17 m ³	0.18 m ³
1	Filtro de vacío rotativo	67 000	79 000	84 000	89 000	97 000	104 000	113 000	117 000
	Área del Filtro	7.07 m ²	10.60 m ²	12.37 m ²	14.13 m ²	17.66 m ²	21.20 m ²	25.71 m ²	28.26 m ²
1	Tanque de mezcla	195 000	206 000	211 000	215 000	221 000	227 000	220 000	226 000
	Volumen del tanque	2.99 m ³	4.48 m ³	5.22 m ³	5.97 m ³	7.46 m ³	8.96 m ³	10.45 m ³	11.94 m ³
1	Filtro de vacío giratorio	75 000	88 000	93 000	98 000	108 000	116 000	123 000	130 000
	Área de filtro	9.13 m ²	13.69 m ²	15.97 m ²	18.25 m ²	22.81 m ²	27.38 m ²	31.94 m ²	36.50 m ²
1	Cristalizador	625 000 1	681 000 1	707 000	731 000	775 000	816 000	855 000	891 000
	Volumen del tanque	2,,31 m ³	8.47 m ³	21.54 m ³	24.62 m ³	30.78 m ³	36.93 m ³	43.10 m ³	49.24 m ³

1	Filtro de vacío rotativo	53 000	63 000	66 000	70 000	77 000	82 000	88 000	93 000
	Área de filtro	3.92 m ²	5.88 m ²	6.85 m ²	7.83 m ²	9.79 m ²	11.75 m ²	13.71 m ²	15.67 m ²
1	Secador rotatorio	73 000	93 000	103 000	111 000	168 000	186 000	206 000	222 000
	Área de secado	11.79 m ²	15.46 m ²	17.13 m ²	18.72 m ²	13.69 m ²	15.46 m ²	17.13 m ²	18.72 m ²
1	Fermentador	134 000	134 000	134 000	134 000	134 000	134 000	268 000	268 000
	Volumen del recipiente	5.64 m ³	8.46 m ³	9.87 m ³	11.28 m ³	14.10 m ³	1 6.92 m ³	11.10 m ³	11.28 m ³
1	Tanque de fondo plano	78 000	100 000	110 000	119 000	136 000	210 000	222 000	238 000
	Volumen del tanque	16.65 m ³	24.97 m ³	29.13 m ³	33.30 m ³	41.62 m ³	26.94 m ³	29.89 m ³	33.30 m ³
1	Columna de destilación	25 000	32 000	35 000	38 000	44 000	5 000	53 000	58 000
	Volumen de columna	551.03 L	826.55 L	964.31 L	1 102.07 L	1 377.59 L	1 827.38 L	1 897.67 L	2 204.13 L
1	Columna de destilación	15 000	19 000	21 000	23 000	26 000	30 000	32 000	34 000
	Volumen de la columna	229.25 L	343.88 L	401.19 L	458.50 L	573.14 L	743.60 L	792.60 L	917.01 L
1	Intercambiador de calor	106 000	106 000	106 000	106 000	106 000	106. 000	106 000	106 000
	Intercambiador de calor	100.00 m ²	100.00 m ²	100.00 m ²	100.00 m ²	100.00 m ²	100.00 m ²	100.00 m ²	100.00 m ²
1	Intercambiador de calor	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000
	Intercambiador de calor	0.04 m ²	0.06 m ²	0.07 m ²	0.08 m ²	0.10 m ²	0.12 m ²	0.13 m ²	0.15 m ²
1	Divisor de flujo	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tamaño / Capacidad	2 323.41 kg/h	3 485.12 kg/h	4 065.97 kg/h	4 646.82 kg/h	5 808.52 kg/h	7 470.44 kg/h	8 397.25 kg/h	9 293.64 kg/h
1	Fermentador de Semillas	41 000	50 000	54 000	58 000	64 000	73 000	77 000	81 000
	Volumen del buque	18.09 m ³	27.14 m ³	31.66 m ³	36.19 m ³	45.23 m ³	58.31 m ³	65.27 m ³	72.38 m ³
1	Mezclador	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tamaño / Capacidad	2 323.04 kg/h	3 484.56 kg/h	4 065.32 kg/h	4 646.08 kg/h	5 807.60 kg/h	7 469.33 kg/h	8 395.96 kg/h	9 292.17 kg/h

1	Fermentador	89 000	113 000	124 000	135 000	154 000	179 000	192 000	204 000
	Volumen del recipiente	120.60 m ³	180.90 m ³	211.05 m ³	241.20 m ³	301.50 m ³	388.67 m ³	435.03 m ³	482.40 m ³
1	Compresor centrífugo	64 000	64 000	64 000	64 000	64 000	64 000	64 000	64 000
	Potencia del compresor	3.24 kW	4.87 kW	5.68 kW	6.49 kW	8.11 kW	10.45 kW	11.70 kW	12.98 kW
1	Mezclador	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tamaño / Capacidad	1 320,17 kg/h	1 980.25 kg/h	2 310.29 kg/h	2 640.33 kg/h	3 301.52 kg/h	3 973.76 kg/h	4 620.58 kg/h	5 280.67 kg/h
1	Generador de vapor	55 000	55 000	55 000	55 000	55 000	55 000	55 000	55 000
	Rendimiento	0.23 MT/h	0.35 MT/h	0.41 MT/h	0.46 MT/h	0.58 MT/h	0.69 MT/h	0.81 MT/h	0.93 MT/h
1	Turbina de vapor	27 000	27 000	27 000	27 000	27 000	27 000	27 000	28 000
	Potencia del eje suministrada por la turbina	0.99 kW	1.95 kW	2.51 kW	3.11 kW	4.42 kW	5.81 kW	7.45 kW	9.11 kW
1	Bomba centrífuga	8 000	8 000	8 000	8 000	9 000	9 000	10 000	10 000
	Potencia de la bomba	0.09 kW	0.13 kW	0.15 kW	0.17 kW	0.21 kW	0.25 kW	0.30 kW	0.34 kW
1	Filtro de Cinturón	219 000	220 000	221 000	222 000	223 000	225 000	226.000	227 000
	Anchura de la correa	0.10 m	0.15 m	0.18 m	0.20 m	0.25 m	0.30 m	0.35 m	0.40 m
1	Reactor Agitador	15 000	19 000	21 000	23 000	29 000	31 000	31 000	35 000
	Volumen del recipiente	0.24 m ³	0.36 m ³	0.42 m ³	0.48 m ³	0.70 m ³	0.78 m ³	0.83 m ³	0.95 m ³
	Accesorios	197 000	208 000	214 000	220 000	232 000	245 000	261.000	269 000
	TOTAL	3 945 000	4 165 000	4 286 000	4 399 000	4 637 000	4 908 000	5 224 000	5 381 000

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Anexos 8. Costo de Inversión.

RESUMEN DEL ESTIMADO DE CAPITAL FIJO (precios de 2010 en \$)								
INDICES	CAPACIDAD EN TONELADAS							
A. Costo directo total de planta (TPDC)	36	54	63	72	90	108	126	144
Costo de compra del equipo	3 945 000	4 165 000	4 286 000	4 399 000	4 637 000	4 908 000	5 224 000	5 381 000
Instalación	1 492 000	1 564 000	1 608 000	1 648 000	1 740 000	1 843 000	1 953 000	2 010 000
Tubería de proceso	1 381 000	1 458 000	1 500 000	1 540 000	1 623 000	1 718 000	1 828 000	1 883 000
Instrumentación	1 578 000	1 666 000	1 715 000	1 760 000	1 855 000	1 963 000	2 089 000	2 152 000
Aislamiento	118 000	125 000	129 000	132 000	139 000	147 000	157 000	161 000
Eléctrico	394 000	416 000	429 000	440 000	464 000	491 000	522 000	538 000
Edificios	592 000	625 000	643 000	660 000	696 000	736 000	784 000	807 000
Mejora de patio	592 000	625 000	643 000	660 000	696 000	736 000	784 000	807 000
Instalaciones Auxiliares	789 000	833 000	857 000	880 000	927 000	982 000	1 045 000	1 076 000
TPDC	10 880 000	11 476 000	11 809 000	12 117 000	12 777 000	13 525 000	14 385 000	14 816 000
B. Costo Indirecto Total de la Planta (TPIC)								
Ingeniería	2 720 000	2 869 000	2 952 000	3 029 000	3 194 000	3 381 000	3 596 000	3 704 000
Construcción	3 808 000	4 017 000	4 133 000	4 241 000	4 472 000	4 734 000	5 035 000	5 185 000
TPIC	6 528 000	6 886 000	7 086 000	7 270 000	7 666 000	8 115 000	8 631 000	8 889 000
C. Costo total de la planta TPC	17 408 000	18 362 000	18 89 000	19 388 000	20 443 000	21 640 000	23 016 000	23 705 000
D. Tarifa y contingencia del contratista (CFC)								
Tarifa del contratista	870 000	918 000	945 000	969 000	1 022 000	1 082 000	1 151 000	1 185 000
Contingencia	1 741 000	1 836 000	1 889 000	1 939 000	2 044 000	2 164 000	2 302 000	2 370 000
CFC = 12 + 13	2 611 000	2 754 000	2 834 000	2 908 000	3 066 000	3 246 000	3 452 000	3 556 000
E. Costo directo de capital fijo DFC	20 020 000	21 117 000	21 729 000	22 296 000	23 510 000	24 886 000	26 469 000	27 261 000

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Anexos 9. Costo de materiales (precios 2010).

COSTO DE MATERIALES - RESUMEN DEL PROCESO									
Costo anual (\$) en función a la cantidad de bagazo de caña en toneladas									
Unidad	Material a granel	36	54	63	72	90	108	126	144
Kg	H2SO4 (10% w/w)	135 709	203 564	237 491	271 418	339.273	407 128	474 982	542 837
T	Vapor	14 850	22 275	25 987	29 700	44 550	39 600	51 975	59 400
Kg	Hidrolasa	1 295 035	1 942 553	2 266 312	2.590.071	3 239 576	3 909 057	4 532 624	5 180 142
T	Agua	23 242	34 863 000	40 674	46 484	58 109	71 758	82 213	92 968
Kg	Bagazo	193 050	289 575	337 837	386 100	482 625	579 150	675 675	772 200
Kg	Nitrógeno	0	0	0	0	0	0	0	0
Kg	Oxígeno	0	0	0	0	0	0	0	0
Kg	Amm. Sulfato	79 115	118 673	138 452	158 231	197 788	237 346	316 462	316 462
Kg	Nutrientes	722 827	1 084 240	1 264 947	1 445 654	1 807 067	2 168 481	2 891 308	2 891 308
Kg	Hidróxido de Ca	64 792	97 188	113 386	129 584	161 981	194 377	226 773	259 169
Kg	Aire	0	0	0	0	0	0	0	0
T	RO Agua	9 195	13 793	16 092	18 391	22 955	27 369	32 184	36 782
Kg	EtOH (30% p / p)	0	0	0	0	0	0	0	0
Kg	NaOH (3% p / p)	323	484	565	645	1 291	968	1 129	1 291
TOTAL		2 538 139	3 807 209	4 441 744	5 076 279	6 355 216	7 635 233	9 285 325	10 152 557

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Anexos 10. Tratamientos de residuos y costos de eliminación (precios 2010).

TRATAMIENTO DE RESIDUOS / COSTO DE ELIMINACIÓN (precios de 2010) - RESUMEN DEL PROCESO									
Unidad	Categoría de residuos	Costo anual (\$) en función a la cantidad de bagazo de caña en toneladas							
		36	54	63	72	90	108	126	144
	Residuo sólido								
T	Ceniza	1 455	2 182	2 546	2 910	3 634	4 379	5 092	5 82
	líquido acuoso								
T	Residual del lavado(B)	2 149	3 223	3 761	4 298	5 372	6 447	7 521	8 596
Kg	Res. Liq.(lignina)	499 195	748 793	873 592	998 391	1 247 989	1 497 586	1 747 184	1 996 782
kg	Res. Liq.(EtOH)	232 542	348 812	406 948	465 083	918 271	499 625	813 896	930 166
	Líquido orgánico								
kg	Biomasa	5 901 153	8 851 730	10 327 018	11 802 307	14 752 875	17 701 891	23 079 479	23 604 613
kg	Vinaza	17 708 092	26 562 138	30 989 161	35 416 184	44 270 152	57 036 418	64 88 247	70 832 368
	Emisiones								
kg	CO ₂ Fermentación	466 022	699 033	815 538	932 044	1 165 055	1 398 066	1 878 577	1 864 088
kg	CO ₂ Pre fermentación	4 565 372	6 848 058	7 989 401	9 130 744	11 413 357	14 712 119	16 467 538	18 261 488
kg	CO ₂ Fermentación	879 849	1 319 763	1 539 723	1 759 684	11 413 357	2 775 036	3 144 659	3 519 367
kg	Gas de combustión	20 781 813	31 172 719	36 368 172	41 563 526	51 965 936	62 505 793	72 736 345	83 127 251
	TOTAL	735 341	1 103 011	1 286 847	1 470 682	2 175 266	2 008 037	2 573 693	2 941 364

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Anexos 11. Costos de Facilidades Auxiliares. (Precios de 2010).

COSTO DE FACILIDADES AUXILIARES (precios de 2010) - RESUMEN DEL PROCESO									
		Costo anual (\$) en función a la cantidad de bagazo de caña en ton.							
Unidad	Facilidades Auxiliares	36	54	63	72	90	108	126	144
kW-h	Energía estándar	36 423	54 635	63 741	72 847	91 061	113.939	134 180	145 693
T	Vapor	0	0	0	0	0	0	0	0
T	agua de enfriamiento	55 409	83 113	96 965	110 817	138520	171.499	193 895	221 634
T	Agua fría	66 687	100 031	116 703	133 375	166 720	200.064	236 724	266 749
T	Agua potable	110	165	192	220	275	348	381	440
TOTAL		158 629	237 944	277 601	317 258	396 580	485 850	565 179	634 517

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Anexos 12. Costos de operación anual (Precios de 2010) obtenidos.

COSTO DE OPERACIÓN ANUAL (precios de 2010) - RESUMEN DEL PROCESO								
Costo anual (\$) en función a la cantidad de bagazo de caña en toneladas								
OPERACIONES	36	54	63	72	90	108	126	144
Materias primas	2 538 000	3 807 000	4 442 000	5 076 000	6 355 000	7 635 000	9 285 000	10 153 000
Dependiente del trabajo	1 943 000	1 943 000	1 943 000	1 943 000	1 943 000	1 943 000	1 943 000	1 943 000
Dependiente de la Dependencia	3 893 000	4 105 000	4 225 000	4 336 000	4 572 000	4 840 000	5 148 000	5 303 000
Consumibles	0	0	0	0	0	0	0	0
Tratamiento / Eliminación de Residuos	735 000	1 103 000	1 287 000	1 471 000	2 175 000	2 008 000	2 574 000	2 941 000
Facilidades Auxiliares	159	238	278	317	397	486	565	635
Transporte	0	0	0	0	0	0	0	0
Diverso	0	0	0	0	0	0	0	0
Publicidad / Venta	0	0	0	0	0	0	0	0
Regalías corrientes	0	0	0	0	0	0	0	0
Eliminación de productos fallidos	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	9 268 000	11 197 000	12 174 000	13 143 000	15 442 000	16 912 000	19 516 000	20 974 000

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Anexos 13. Resumen ejecutivo económico (Precios de 2010)

RESUMEN EJECUTIVO ECONÓMICO (PRECIOS DE 2010)									
UNIDAD	ÍNDICES	CAPACIDADES							
		36	54	63	72	90	108	126	144
\$	Inversión total de capital	21 394 000	22 644 000	23 336 000	23 980 000	25 384 000	26 881 000	28 676 000	29 587 000
\$	Inversión de capital cobrada a este proyecto	21 394 000	22 644 000	23 336 000	23 980 000	25 384 000	26 881 000	28 676 000	29 587 000
\$/año	Costo operacional	9 268 000	11 197 000	12 174 000	13 143 000	15 442 000	16 912 000	19 516 000	20 974 000
\$/año	Coste Operativo Neto	9 267 834	11 196 565	12 174 103	13 142 882	15 442 329	16 912 354	19 515 756	20 974 353
\$/año	Ingresos principales	2 285 000	3 428 000	4 000 000	4 571 000	5 714 000	6 856 000	7 999 000	9 142 000
\$/año	Otros Ingresos	5 643 287	8 465 098	9 876 031	11 286 980	14 108 963	16 931 624	19 752 928	22 574 989
\$/año	Ingresos totales	7 929 000	11 893 000	13 876 000	15 858 000	19 823 000	23 788 000	27 752 000	31 717 000
kg MP/año	Costo Base Tasa anual	1 523 625	2 285 438	2 666 344	3 047 250	3 809 063	4 570 875	5 332 688	6 094 500
\$/kg MP	Costo unitario de producción	6.08	4.90	4.57	4.31	4.05	3.70	3.66	3.44
\$/kg MP	Costo neto de producción unitaria	6.08	4.90	4.57	4.31	4.05	3.70	3.66	3.44
\$/kg MP	Ingresos de producción unitaria	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20
%	Margen bruto	- 16.89	5.86	12.26	17.12	22.10	28.90	29.68	33.87
%	Retorno de la inversión	2.63	10.86	13.58	16.19	20.01	25.42	27.44	32.35
años	Periodo de recuperación	38.02	9.21	7.36	6.18	5.00	3.93	3.64	3.09
%	TIR (Tasa Interna de Retorno)	N/A	5.08	8.52	11.02	14.77	19.45	21.17	24.92
\$	VAN (al 7.0% de interés)		-3 125 000	2 686 000	7 786 000	16 859 000	30 659 000	37 899 000	51 897 000

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.